

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

AUTOMATIZOVANÁ KALIBRACE OSCILOSKOPU

AUTOMATED OSCILLOSCOPE CALIBRATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Krejz

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Soňa Šedivá, Ph.D.

BRNO 2021

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Jan Krejz

ID: 211156

Ročník: 3

Akademický rok: 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Automatizovaná kalibrace osciloskopu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je vytvořit proceduru v programu Caliber pro automatizovanou kalibraci osciloskopu pomocí multifunkčního kalibrátoru 9010 firmy Meatest. Téma práce je vypisováno ve spolupráci s firmou Meatest, s.r.o.

1. Seznamte se s prostředím Caliber pro automatizované kalibrace a popište jej.
2. Proveďte literární rešerši v oblasti kalibrací osciloskopů.
3. Stanovte základní a rozšiřující body pro kalibraci obecného osciloskopu.
4. Aplikujte body stanovené v bodu č. 3 zadání pro kalibraci určeného typu osciloskopu s kalibrátorem 9010 firmy Meatest.
5. Sestavte proceduru v programu Caliber a proveďte automatizované měření.
6. Změňte nastavení procedury na ruční měření a porovnejte potřebný čas na kalibraci a náročnost na znalost obsluhy.
7. Navrhněte úpravu uživatelského rozhraní kalibrátoru 9010 pro snadnější ovládání.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Uživatelská příručka programu Caliber. Online. <https://www.meatest.com/files/download/man/caln.pdf>
- [2] EURAMT cg-7 Calibration of Measuring Devices for Electrical Quantities, Calibration of Oscilloscope. https://www.euramet.org/Media/docs/Publications/calguides/EURAMET_cg-7__v_1.0_Calibration_of_Oscilloscopes.pdf

Termín zadání: 8.2.2021

Termín odevzdání: 24.5.2021

Vedoucí práce: Ing. Soňa Šedivá, Ph.D.

Konzultant: Ing. Michal Sitta

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá přípravou a následnou automatizovanou kalibrací osciloskopu Rhode&Schwarz RTB2002 za pomoci kalibrátoru 9010 firmy Meatest. První část přináší teoretické seznámení s prostředím Caliber a problematikou kalibrací osciloskopů. Druhá část obsahuje přípravu a návrh kalibrační procedury včetně jejího praktického provedení a porovnání výsledků automatizované a manuální kalibrace zvoleného osciloskopu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Osciloskop, kalibrace, program Caliber, kalibrátor 9010, Rhode&Schwarz RTB2002

ABSTRACT

The Bachelor thesis deals with the preparation and subsequent automated calibration of the Rhode&Schwarz RTB2002 oscilloscope using the Meatest 9010 calibrator. The first part brings a theoretical introduction to the environment of Caliber and the issue of calibration of oscilloscopes. The second part contains the preparation and design of the calibration procedure including its practical implementation and comparison of the results of the automated and manual calibration of the chosen oscilloscope.

KEYWORDS

Oscilloscope, calibration, program Caliber, calibrator 9010, Rhode&Schwarz RTB2002

KREJZ, Jan. *Automatizovaná kalibrace osciloskopu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, 2021, 76 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Soňa Šedivá, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora: Jan Krejz
VUT ID autora: 211156
Typ práce: Bakalářská práce
Akademický rok: 2020/21
Téma závěrečné práce: Automatizovaná kalibrace osciloskopu

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno
.....
podpis autora*

*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucí bakalářské práce paní Ing. Soni Šedivé, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Dále bych rád poděkoval i mému konzultantovi práce panu Ing. Michalu Sittovi za jeho odborné vedení, technické konzultace i konzultace a pomoc při praktickém provedení.

Obsah

Úvod	13
1 Program Caliber	14
1.1 Prostředí Caliber	14
1.2 Části programu	15
1.2.1 Modul procedury	15
1.2.2 Modul karty přístrojů	16
1.2.3 Modul uživatelské funkce	16
1.2.4 Modul pravidla generování	16
1.3 Obsluha programu	17
1.3.1 Sestavení měřicí úlohy	17
1.3.2 Schéma přístrojů	17
1.3.3 Zobrazení přístroje	18
1.4 Tvorba procedury	19
1.4.1 Vytvoření nové procedury	19
1.4.2 Jednotlivé kroky vytvoření procedury	19
1.5 Vytvoření karty přístroje	21
1.6 Procedura	22
1.6.1 Obrazovka modulu Procedura	23
1.6.2 Stavové okno	23
1.6.3 Rozšiřující nabídka	24
1.7 Formát výstupního protokolu	26
2 Kalibrace osciloskopu	28
2.1 Displej osciloskopů	28
2.2 Kalibrace svislého vychýlení	28
2.3 Kalibrace horizontálního vychýlení	29
2.4 Kalibrace osy Z	29
2.5 Kalibrace interních signálů	29
3 Kalibrace svislého vychýlení	30
3.1 Zisk	30
3.2 Pulzní odezva	31
3.3 Šířka pásma	32
4 Kalibrace horizontálního vychýlení	33
4.1 Šířka pásma osy X	33
4.2 Horizontální načasování	34

4.2.1	Kalibrace horizontálního načasování	34
4.3	Přesnost zpoždění časové základny	34
4.4	Zpoždění chvění	36
4.5	Spouštěcí funkce	37
4.5.1	Interní spouštěče	37
4.6	XY fázový vztah	38
4.6.1	Vstup X	38
4.6.2	Test fázování	38
5	Kalibrovaný osciloskop	39
6	Kalibrátor 9010	40
7	Sestavení kalibrační procedury	41
7.1	Hlavní a vedlejší body kalibrace	43
7.1.1	Kalibrační body funkce VDC_2W	43
7.1.2	Kalibrační body funkce VAC_2W	44
7.1.3	Kalibrační body funkce FREQ1	44
7.1.4	Kalibrační body funkce V_SCOS	45
7.2	Měřicí karta osciloskopu	46
7.2.1	Vytváření funkcí	46
7.2.2	Globální nastavení	53
7.3	Procedura	53
7.3.1	Tvoření procedury	54
7.3.2	Nastavení přístrojů	57
8	Kalibrace	60
9	Úpravy uživatelského rozhraní	64
9.1	Kalibrátor 9010	64
9.2	Program Caliber	65
	Závěr	67
	Literatura	69
	Seznam příloh	71
A	Kalibrační protokol	72
A.1	Ukázka kalibračního protokolu funkce VDC_2W	72
A.2	Ukázka kalibračního protokolu funkce VAC_2W a FREQ	73
A.3	Ukázka kalibračního protokolu funkce V_SCOS	74

Seznam obrázků

1.1	Ukázka záznamu o kalibraci [3]	14
1.2	Prostředí programu Caliber [1]	15
1.3	Ukázka karty přístroje	16
1.4	Schéma přístrojů [2]	18
1.5	Zobrazení přístroje [1]	18
1.6	Ukázka stavového okna	19
1.7	Ukázka okna pro tvorbu nové procedury	20
1.8	Ukázka karty přístroje [1]	22
1.9	Ukázka obrazovky modulu procedury [3]	23
1.10	Ukázka stavového okna [1]	24
1.11	Ukázka rozšiřující nabídky [1]	24
1.12	Ukázka výstupního protokolu [3]	26
3.1	Stejnoseměrné napětí - zisk [6]	30
3.2	Obdélníková vlna [6]	31
3.3	Nastavení amplitudy na 100 % [6]	32
3.4	Měření amplitudy při bodové frekvenci 3dB [6]	32
4.1	Nastavení délky stopy na referenční frekvenci [6]	33
4.2	Měření délky stopy při bodové frekvenci 3dB [6]	33
4.3	Ukázka zpoždění časové základny se zintenzivněním na hlavní časové ose [6]	35
4.4	Ukázka samotné zpožděné časové základny [6]	35
4.5	Ukázka zpoždění časové základny se zesílením na hlavní časové ose [6]	35
4.6	Ukázka samotné zpožděné časové základny [6]	36
4.7	Zpožděná časová základna se zesílila na hlavní časové ose [6]	37
4.8	Okraj zobrazující chvění na zpožděné časové základně [6]	37
5.1	Osciloskop Rhode&Schwarz RTB2002 [11]	39
5.2	Ukázka specifikací osciloskopu Rhode&Schwarz RTB2002 [15]	39
6.1	Kalibrátor 9010 [9]	40
6.2	Specifikace kalibrátoru 9010 [9]	40
7.1	Blokové schéma provedení kalibrace	42
7.2	Příklad zadání kalibračních bodů pro funkci VDC_2W pro rozsah 1V	43
7.3	Příklad zadání kalibračního bodu pro funkci VAC_2W pro rozsah 1V	44
7.4	Příklad zadání kalibračního bodu pro funkci FREQ1	45
7.5	Příklad zadání kalibračních bodů pro funkci V_SCOS pro rozsah 1V	45
7.6	Karta přístroje osciloskopu Rhode&Schwarz RTB2002	46
7.7	Pravidla generování	47
7.8	Rozsahy funkce VDC_2W	47

7.9	Dálkové ovládání VDC_2W	48
7.10	Rozsahy funkce FREQ1	49
7.11	Dálkové ovládání FREQ1	49
7.12	Rozsahy funkce V_SCOS	50
7.13	Dálkové ovládání V_SCOS	51
7.14	Rozsahy funkce VAC_2W	52
7.15	Dálkové ovládání VAC_2W	52
7.16	Ukázka globálního nastavení	53
7.17	Procedura - základní informace	54
7.18	Procedura - Funkce VDC_2W	55
7.19	Procedura - Funkce VAC_2W	56
7.20	Procedura - Funkce FREQ	56
7.21	Procedura - základní informace	57
7.22	Konfigurace přístrojů pro automatizované měření	58
7.23	Konfigurace přístrojů pro manuální měření	59
8.1	Porovnání průběhu automatické a manuální kalibrace	63
9.1	Ukázka zobrazení displeje kalibrátoru 9010 (funkce V_SCOS)[14]	64
A.1	Ukázka kalibračního protokolu funkce VDC_2W	72
A.2	Ukázka kalibračního protokolu funkce VAC_2W a FREQ	73
A.3	Ukázka kalibračního protokolu funkce V_SCOS část 1.	74
A.4	Ukázka kalibračního protokolu funkce V_SCOS část 2.	75

Seznam tabulek

7.1	Tabulka pro jednotlivé příkazy maker zápisu a čtení funkce V	48
7.2	Tabulka pro jednotlivé příkazy maker zápisu a čtení pro funkci FREQ1	50
7.3	Tabulka pro jednotlivé příkazy maker zápisu a čtení pro funkci V_SCOS	51
7.4	Tabulka pro jednotlivé příkazy maker zápisu a čtení pro funkci VAC_2W	52
8.1	Tabulka shrnutí jednotlivých časů automatizované kalibrace	60
8.2	Tabulka shrnutí jednotlivých časů manuální kalibrace	61
8.3	Tabulka Porovnání manuální a automatizované kalibrace	61

Úvod

Osciloskopy jsou měřicí přístroje, které slouží k zobrazování vstupní elektrické veličiny v závislosti na čase. Jako všechny měřicí přístroje i osciloskopy po určitém čase a používání potřebují kalibraci k ověření přesnosti měření.

Kalibrování přístrojů se provádí kvůli testování správné funkčnosti měřicích přístrojů, ověření jejich výkonnosti a přesnosti, ověřujeme, zda námi testovaný přístroj měří správně. Obecně lze říci, že kalibrace je činnost, při které se v prvním kroku stanoví vztah mezi hodnotami kalibrované veličiny s nejistotami měření poskytnuté za pomoci etalonu, ve druhém kroku se tyto informace používají ke stanovení vztahu pro získání výsledku měření z indikace. Kalibrace určuje metrologické charakteristiky přístroje, systému nebo referenčního materiálu. Ve většině případů se tohoto dosahuje přímým porovnáním s etalony nebo certifikovanými materiály. Po provedení se vystavuje list a kalibrované měřidlo se opatří štítkem. [8]

Ke kalibraci se v dnešní době využívají přístroje nazvané kalibrátory. Kalibrátory jsou obecně přístroje, které slouží k zjištění přesnosti přístroje.

V první části své bakalářské práce se zabývám popisem prostředí a jednotlivých funkcí programu Caliber. Jedná se o program vyvinutý firmou Meatest, který je určený pro automatizované kalibrace, za jehož pomoci byla provedena kalibrace zvoleného osciloskopu (Rhode&Schwarz RTB2002). Dále se zde zabývám problematikou kalibrace osciloskopů. Ve druhé části popisuji postup práce při tvoření jednotlivých částí kalibrační procedury, jako je karta měřicího přístroje, za jejíž pomoci byla procedura následně vytvořena a zvolený osciloskop zkalibrován, a to jak automatizovaně, tak ručně. Závěrem uvádím zhodnocení jednotlivých kalibrací.

Cílem této práce je snaha o provedení automatizované kalibrace na základě procedury vytvořené v programu Caliber. Toto by mělo vést ke zrychlení procesů kalibrace a dále k odstranění možných chyb, kterých se během manuální kalibrace může obsluha dopustit.

Bakalářská práce byla vytvářena ve spolupráci s firmou Meatest, která mi umožnila přístup do svého zázemí, ve kterém byla práce realizována. Firmě patří mé velké poděkování.

1 Program Caliber

Program Caliber je program vyvinutý firmou MEATEST a slouží pro automatizované kalibrace měřicích přístrojů pomocí etalonu. Tento program umožňuje vytvoření kalibrační procedury (kalibračního postupu) a využívá se především pro automatickou kalibraci jednotlivých přístrojů. Mezi hlavní kalibrované veličiny patří elektrické napětí, proud, odpor, dále například frekvence, teplota a kapacita [1].

Program Caliber komunikuje s kalibrovanými zařízeními při kalibrační proceduře pomocí sériové linky RS232, která představuje jednoduchý způsob připojení, přístroje lze nastavovat a lze z nich číst odměry. Dále lze využít sběrnici IEEE488 (je nutné mít počítač vybavený kartou GPIB). Připojení pomocí této sběrnice umožňuje připojení až 16 přístrojů najednou, přístroje lze nastavovat a číst z nich odměry. Další způsoby připojení jsou například pomocí Ethernetu, USB propojení nebo popřípadě jakékoliv další sběrnice, která podporuje standart VISA. Přístroje lze ovládat i manuálně nebo se nabízí sběr dat pomocí digitální kamery [1].

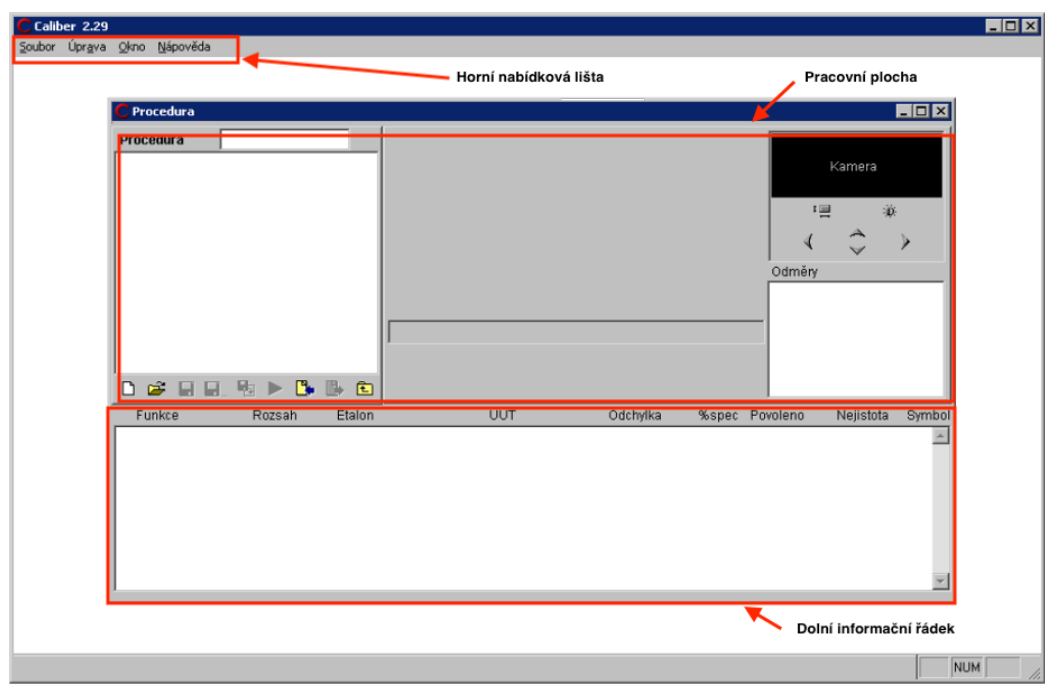
Po provedení kalibrace je výstupem programu fyzicky provedená kalibrace společně se záznamem o jejím provedení viz obrázek č. 1.1 níže.

Funkce	Rozsah	Etalon	UUT	Odchylka	%spe	Povoleno	Nejistota	
VDC-2W	200 mV	20.0 mV	20.0 mV	-0 uV	0	200 uV	62 uV	ok
VDC-2W	200 mV	180.0 mV	180.6 mV	620 uV	62	1003 uV	71 uV	ok
VDC-2W	200 mV	-180.0 mV	-180.7 mV	-690 uV	-69	1003 uV	69 uV	ok
VDC-2W	2 V	0.200 V	0.200 V	-0.00 mV	0	2.00 mV	0.58 mV	ok
VDC-2W	2 V	1.800 V	1.807 V	7.00 mV	70	10.04 mV	0.58 mV	ok
VDC-2W	2 V	-1.800 V	-1.807 V	-6.80 mV	-68	10.03 mV	0.64 mV	ok
...								

Obr. 1.1: Ukázka záznamu o kalibraci [3]

1.1 Prostředí Caliber

Obrazovka programu Caliber viz. obrázek č. 1.2 se skládá ze tří částí, a to konkrétně z horní nabídkové lišty (ta obsahuje jednotlivé nabídky pro výběr modulů, editační funkce a nápovědu). Dále se zde nachází pracovní plocha, kde se zobrazují aktivní okna programu (moduly – po spuštění modulu procedura). Spodní řádek zobrazuje informace o vybraném objektu, činnosti programu a klávesnice [1].



Obr. 1.2: Prostředí programu Caliber [1]

1.2 Části programu

Program Caliber je tvořen čtyřmi základními moduly, a to: [1]

- modul Procedury
- modul Karty přístrojů
- modul Uživatelské funkce
- modul Pravidla generování

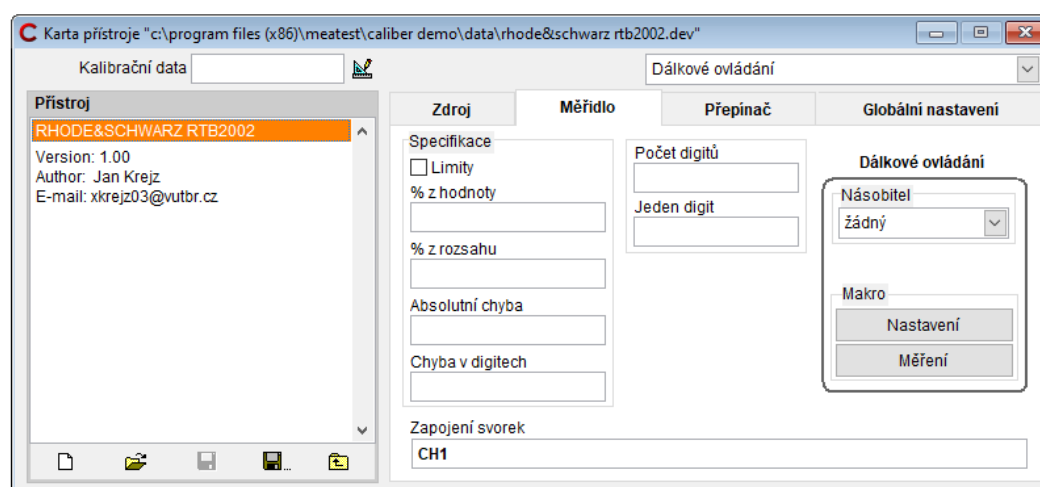
1.2.1 Modul procedury

Kalibrační procedura slouží pro stanovení kontrolovaných funkcí, rozsahů a bodů, dále přístrojů použitých pro kalibraci a způsobu jejich propojení. Pro úpravu tvorby kalibrační procedury je určen programový modul procedury. Je to základní modul programu Caliber pro práci s kalibračními procedurami. V tomto modulu je možné vytvářet a upravovat kalibrační procedury. Důležité jsou pro kalibrační proceduru přístroje (např. kalibrovaný přístroj, etalon, dekáda, převodník), které se při kalibraci využívají. Pomocí tohoto modulu se vykonávají všechny řídicí úkony, jako je například vyhodnocování měření, výpočty jednotlivých nejistot měření a také generování protokolu o průběhu kalibrace. Dále je zde také možné provádět změny v kalibrační proceduře v průběhu měření (změny jako např. vynechání nebo změna

pořadí kontrolovaných bodů, přidání bodu pro zastavení běžící procedury anebo vynechání některé z kontrolovaných funkcí nebo rozsahů) [1].

1.2.2 Modul karty přístrojů

V programu Caliber je přístroj definován kartou přístroje, která obsahuje popis přístroje, kdy se jedná především o seznam podporovaných funkcí, definice rozsahů, specifikace a způsob ovládání přístroje. Pokud je karta jednou vytvořena, lze ji poté používat pro jakoukoliv kalibraci v libovolné konfiguraci, program již automaticky zná potřebné vlastnosti přístroje [1].



Obr. 1.3: Ukázka karty přístroje

1.2.3 Modul uživatelské funkce

Tento modul umožňuje vytvářet nové funkce a v určitém rozmezí upravovat funkce stávající. Úkolem funkcí je sloučit nastavení jednotlivých přístrojů na stejnou funkci. Funkce představuje kategorii podporovaných vlastností přístroje, které jsou poté používány v celém systému Caliber (funkcí je například V-DC, určující vlastnost přístroje - stejnosměrné napětí) [1].

1.2.4 Modul pravidla generování

Slouží pro vytváření pravidel, která se použijí při automatickém vytváření kalibračních procedur.[1] Více v kapitole 1.5. (Vytvoření nové procedury).

1.3 Obsluha programu

1.3.1 Sestavení měřicí úlohy

Pro provedení kalibrace je nutné mít kalibrovaný přístroj (přístroj, který chceme kalibrovat) a přístroj k jeho kontrole (Etalon). V jednom kalibračním bodě (kalibrační bod je část/úkon, který má být proveden během kalibrační procedury) můžeme maximálně použít 20 přístrojů. Pro použití přístroje je nutná existence karty přístroje. Pokud již provádíme sestavování měřicí úlohy, je zapotřebí definovat UUT (Unit Under Test), Etalon a Zdroj, není povinné použít převodník (pro převod mezi veličinami), způsob ovládání u každého přístroje si můžeme zvolit (Manuální, RS232 a další) [1].

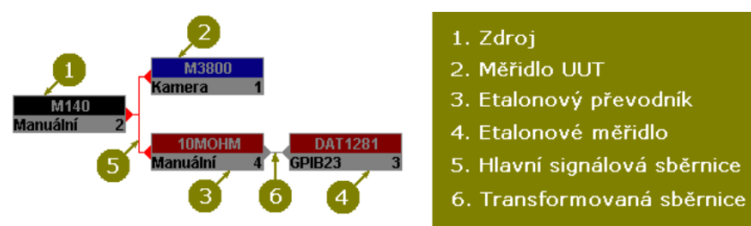
Měřicí úloha může být sestavena z pěti základních typů přístrojů a to [1]:

- **UUT (Unit Under Test)** – kalibrovaný přístroj, není důležité, jestli se jedná o zdroj signálu nebo měřidlo např. multimetr, odporová dekáda apod. V programu je UUT zobrazen modrou barvou.
- **Etalon** – etalonový přístroj, který program využívá pro stanovení konvenčně pravé hodnoty přístroje UUT. Může to být například kalibrátor. Etalon je vždy zobrazen červenou barvou.
- **Zdroj** – při každé prováděné úloze musí být přítomný zdroj signálu, a to na pozici etalonu (kalibrátor), anebo na pozici UTT (kalibrace dekády), nebo pouze jako zdroj.
- **Převodník** – převádí měřený signál, například převod veličin nebo převod hodnot. Program nepovoluje zařadit převodník k UUT. Převodník připojený k etalonu je značen červenou barvou.
- **Přepínač** – přístroj, který je možné ovládat s ostatními přístroji při kalibraci ovšem nemá vliv na kalibrační výsledky (např. automatizovaný přepínač svorek).

1.3.2 Schéma přístrojů

Přístroje musí být mezi sebou signálově propojeny, jak je vidět na obrázku 1.4 (bod č. 5). Na obrázku jsou linky znázorněny oranžovou a šedou barvou. Pokud je přístroj připojen k hlavní sběrnici (všechny hodnoty jsou na něm nastaveny přesně tak, jak je nastaven UUT a jak určuje kalibrační procedura), barva sběrnice je oranžová.

Pokud je linka šedá, znamená to, že hodnoty byly transformovány převodníkem, a tak mohou být odlišné od hodnot UUT. Převodníků může být více za sebou a hodnoty jsou transformovány směrem od hlavní sběrnice [1].



Obr. 1.4: Schéma přístrojů [2]

1.3.3 Zobrazení přístroje

Zobrazení každého přístroje vypadá jako obdélník, který je rozdělen na dvě poloviny (viz obr. 1.5). V horní polovině se nachází název přístroje, dolní polovina je rozdělena na další dvě části, a to na levou část, kde je napsán typ komunikační sběrnice, a na pravou část, kde se nachází index přístroje. Po obou bocích se může nacházet zobáček, který nám udává signálové propojení mezi přístroji. Zobáčky se nenachází u všech přístrojů, ale každý přístroj má jiné obsazení zobáčků. V případě zdroje se zobáček nachází na pravé straně, u měřidla pouze na levé straně, pokud se jedná o převodník, má zobáčky na obou stranách, naopak přepínač nemá zobáček žádný. Barva v horní polovině nám napovídá, o jaký přístroj se jedná: modře je značen UUT, červeně je potom značený Etalon a šedou barvou všechny ostatní přístroje. Při sestavování schématu je vhodné všechny zdroje umístit do levé části a měřidla a ostatní součásti do pravé části obrazovky [1].



Obr. 1.5: Zobrazení přístroje [1]

1.4 Tvorba procedury

1.4.1 Vytvoření nové procedury

Pro vytvoření nové kalibrační procedury na dolní liště stavového okna (viz obrázek 1.6) klikneme na tlačítko "Nový" nebo "New", čímž se spustí průvodce pro vytvoření nové procedury. Tlačítko je vidět na obrázku níže.



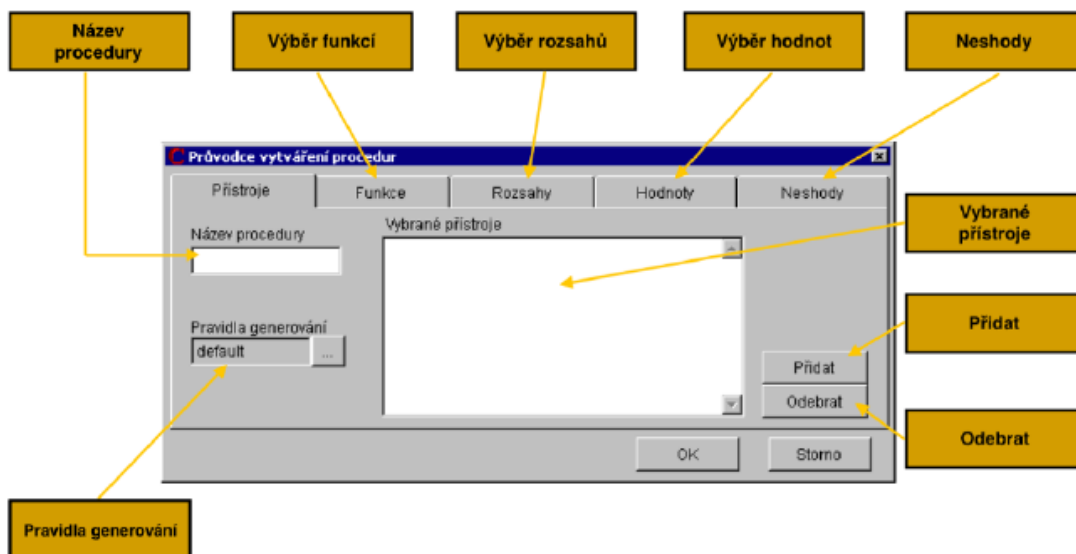
Obr. 1.6: Ukázka stavového okna

Popis a funkce jednotlivých částí [1]:

- Název procedury – zadáním názvu vytvoříme název procedury
- Pravidla generování – zde si vybereme pravidla, podle kterých bude procedura vytvořena
- Výběr funkcí – slouží pro výběr funkcí (podporovaných vlastností přístroje)
- Vybrané přístroje – zde vidíme seznam přístrojů, které jsou vybrány pro kalibraci
- Přidat a Odebrat – slouží k přidání a odebrání přístrojů

1.4.2 Jednotlivé kroky vytvoření procedury

1. **Výběr přístrojů** - Postupujeme tak, že do okna **Název procedury** napíšeme, jak chceme naši proceduru pojmenovat (nejčastěji označení kalibrovaného přístroje). **Pravidla generování** ponecháváme nastavená tak, jak jsou, tudíž – „default,“ nebo pokud chceme pravidla pozměnit, lze je vybrat, to se nejčastěji používá při kalibrování dekád. Zvolení „default“ se používá především pro kontrolu multimetrů. Do **výběrů přístrojů** vybereme přístroje, které budou použity při kalibraci. Jako první určujeme kontrolovaný přístroj a to tak, že ho najdeme a vybereme v databázi, poté mu přiřadíme jeho funkci



Obr. 1.7: Ukázka okna pro tvorbu nové procedury

a způsob ovládání, stejně budeme postupovat i v případě Zdroje a Etalonu. Převodníky, přístroje, přepínače, které chceme zařadit až za převodníky, zadáváme až v editaci vlastní procedury. Nejdůležitější je pro tvorbu procedury UTT, podle něho se vybírají funkce, rozsahy a kontrolní body, u ostatních přístrojů se pouze kontroluje, zda jsou jejich vlastnosti a schopnosti dostatečné pro kontrolu UTT. Pokud námi kalibrovaný přístroj není k nalezení, musíme mu vytvořit kartu [1].

2. **Výběr funkcí** - Jedná se o podporované vlastnosti přístroje (využívajících se při kalibraci). Samotný průvodce nám navrhne funkce, které mohou být v proceduře použity, ty můžeme pomocí šipek přesouvat buď po jedné položce (<,>), nebo všechny najednou («,»). Mezi funkce můžeme použít pouze funkce, které má přístroj definované ve své kartě [1].
3. **Výběr rozsahů** - Průvodce nám sám opět navrhne jednotlivé rozsahy pro jednotlivé funkce. K jednotlivým rozsahům přiřazuje typ rozsahu. Kontrolní body jsou stanoveny v následujícím kroku pomocí pravidel generování bodů a typu rozsahu. Typ rozsahu můžeme změnit tak, že najedeme na zvolený rozsah myší a stiskneme pravé tlačítko myši, poté se nám zobrazí výběr z následujících typů: [1]
 - (a) Běžný – rozsah není ani nejnižší ani nejvyšší ani prostřední nebo specifický
 - (b) Nejnižší – nejnižší rozsah

- (c) Prostřední – je to rozsah ležící uprostřed, pokud máme sudý počet, je vybrán jako prostřední vyšší rozsah
- (d) Nejvyšší – nejvyšší rozsah
- (e) Specifický – jeho hodnota se nachází uvnitř pevně definovaného intervalu dané veličiny

Běžný a Specifický rozsah se v jedné funkci mohou vyskytnout vícekrát, zbylé typy rozsahů (nejnižší, prostřední, nejvyšší) pouze jednou. Jednotlivé rozsahy, které chceme použít, vybíráme opět podle šipek (<, > pro přesun jednoho rozsahu, pro přesun všech «, »). Stejně jako v předchozím bodě nelze použít rozsahy, které nejsou definovány v kartě přístroje.

4. **Výběr hodnot** - Průvodce nám opět sám navrhne a vypíše kontrolní body pro každý rozsah a funkci, které procedura obsahuje. V rámci rozsahu můžeme měnit pořadí jednotlivých bodů, nebo body přidávat či odebírat. Postupně lze zkontrolovat všechny body pomocí volby Funkcí a Rozsahů [1].
5. **Neshody** - V posledním kroku nám průvodce vypíše seznam hodnot, které nelze na použitých přístrojích nastavit. Pokud se nám na seznamu objeví nějaké hodnoty, můžeme se vrátit do předchozích kroků a hodnoty upravit. Bez upravení hodnot nelze pokračovat, protože by nám to mohlo působit v budoucnu problémy. Pro vytvoření procedury stiskneme tlačítko OK. Pomocí tlačítka Uložit, uložíme proceduru na disk [1].

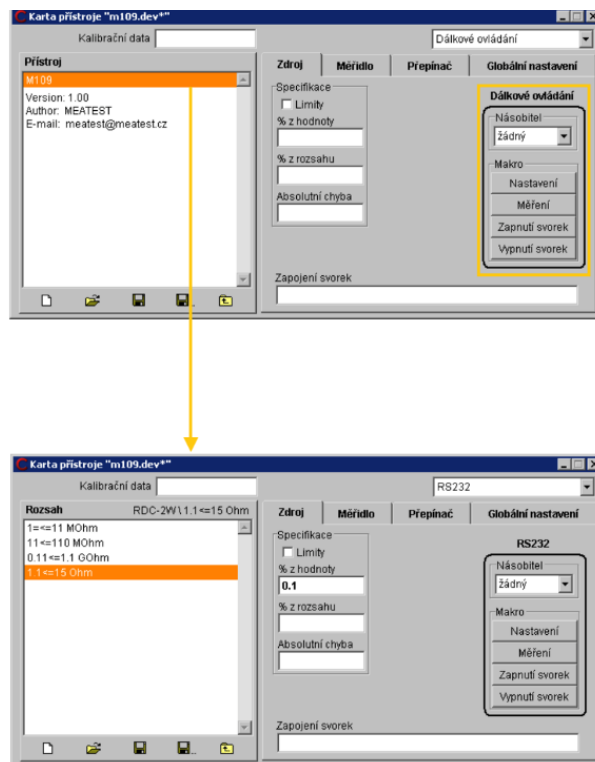
1.5 Vytvoření karty přístroje

Pokud chceme nějaký přístroj používat, musí mít vytvořenou svoji kartu přístroje. Kartu přístroje lze vytvořit v programu v sekci karta přístroje, detailní návod se nachází v manuálu pro program Caliber.

Na obrázku č. 1.8 lze vidět, jak vypadá karta přístroje. Při vytváření nové karty nového přístroje je nutné zadat jeho název.

Skládá se z jednotlivých sekcí jako: [1]

- a) Přístroj – Obsahuje název přístroje a jedná se o nejvyšší úroveň stavového okna.
- b) Funkce – V této sekci se pracuje s nastavením funkčnosti nově přidávaného přístroje, je důležité, která ze 3 nabízených karet je aktuálně vybrána (Zdroj, Měřidlo).
- c) Rozsah – V této sekci se pracuje s rozsahy přístroje, dají se přidávat nebo odebírat.



Obr. 1.8: Ukázka karty přístroje [1]

- d) Parametr – Zde se vybírá, zdali funkce obsahuje jeden nebo víc parametrů.
- e) Globální nastavení – Pouze pro přístroje, zde se nastavují parametry jednotlivých rozhraní.

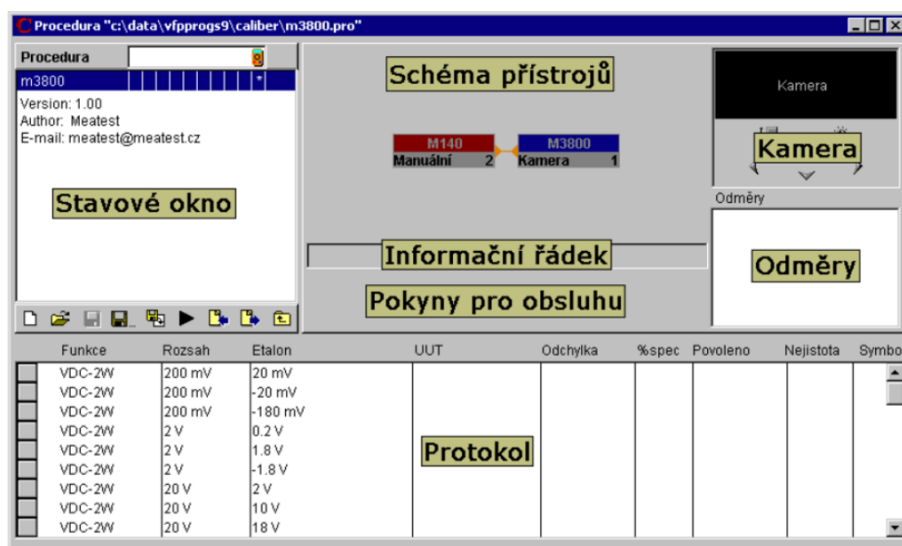
1.6 Procedura

Je to modul, který je určený pro vykonávání kalibrací za pomoci připravených kalibračních procedur. Dále dokáže také vytvářet procedury nebo provádět jejich úpravy, případně testování. Kalibrační procedura také stanovuje kontrolované funkce, rozsahy a body, které přístroje budou použity pro kalibraci a jakým způsobem budou použity.

Tento modul provádí všechny řídicí úkony, jako například vyhodnocení měření, výpočty nejistot, a také generuje protokol kalibrace. Během kalibrace je možné měnit pořadí kontrolovaných bodů, počty odměrů, výpočet nejistot nebo i přístroje použité pro kalibraci. V průběhu měření kontrolovaného přístroje můžeme zadávat vyžádané informace nebo si probíhající program zastavit, popřípadě vynechat kontrolu funkcí, rozsahů nebo bodů, nebo si vložit místo, kde chceme, aby se průběh procedury zastavil [1].

1.6.1 Obrazovka modulu Procedura

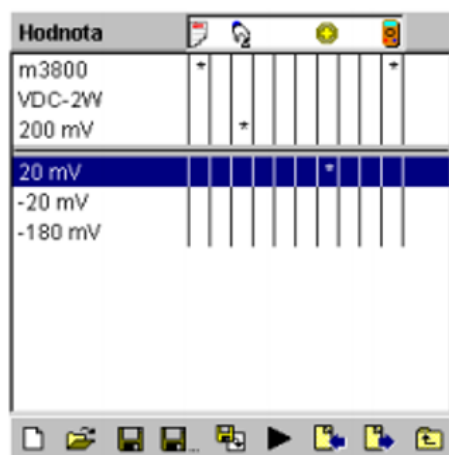
Obrazovka modulu procedury je rozdělena do několika částí, jak je patrné na obrázku č. 1.9. Jako první je zde stavové okno, které se nachází v levém horním rohu a ukazuje strukturu procedury. V prostřední části je schéma používaných přístrojů, pod schématem je vidět informační řádek společně s pokyny pro obsluhu. V pravé horní části se nachází okno pro použití kamery, které zobrazuje video. Pod okénkem, které je určeno pro kameru, se nachází okénko s odměry, kde můžeme sledovat naměřené aktuální hodnoty, získané v průběhu kalibrace. Ve spodní polovině nalezneme kompletní protokol o provádění kalibrace. V protokolu jsou zapsány všechny kalibrační body.



Obr. 1.9: Ukázka obrazovky modulu procedury [3]

1.6.2 Stavové okno

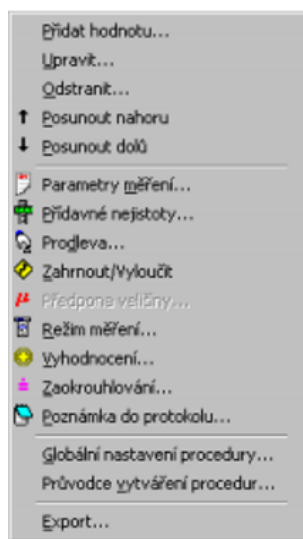
Stavové okno se využívá pro zobrazování kontrolovaných funkcí, rozsahů nebo bodů kalibrovaného přístroje na základě toho, který stupeň hierarchie je zobrazen. Ve stavovém okně se lze pohybovat podle hierarchie Procedura-> Funkce-> Rozsah-> Hodnota. Pro pohyb níže slouží dvojité poklepání myši, pohyb zpět nahoru se provádí pomocí ikonky v pravém dolním rohu. V horní liště je kromě názvu vidět i lišta se seznamem ikon, ty symbolizují jednotlivé individuální nastavení prováděné procedury. Každé ikonce je určen sloupec. Jednotlivá nastavení procedury jsou značeny hvězdičkou [1]. s



Obr. 1.10: Ukázka stavového okna [1]

1.6.3 Rozšiřující nabídka

Pro otevření této nabídky je potřeba kliknout nad stavovým oknem pravým tlačítkem myši. Jednotlivé prvky z nabídky. [1]



Obr. 1.11: Ukázka rozšiřující nabídky [1]

- **Přidat hodnotu** – Přidá další položku do kalibrační procedury (rozsah, funkce, hodnota).
- **Upravit** – Lze změnit vybranou položku procedury (rozsah, funkce, hodnota).
- **Odstranit** – Odstraní vybranou položku ze seznamu.
- **Posunout nahoru nebo dolů** – Posune vybranou položku nahoru nebo dolů.
- **Parametry měření** – Po otevření vyskočí okno, ve kterém lze měnit počet odměrů etalonů, počet odměrů UUT, ze kterých stanovuje jedna složka nejistot

typu A. Dále je zde možné nastavit, jaké je povoleno čerpání specifikace u UUT v procentech. Poté se zde nachází Koeficient rozšíření, který se využívá pro výpočet standardní rozšířené kalibrační nejistoty. Poslední funkcí je nastavit výchozí, která zruší speciální nastavení parametrů měření.

- **Přídavné nejistoty** – Umožňuje nastavení parametrů výpočtu pro rozsah, funkci, hodnoty.
- **Prodleva** – Umožňuje vložit do programu tzv. bod zastavení, kdy se zobrazí text zadávání prodlevy, který vyplní obsluha, nebo lze vybrat soubor, který se má zobrazit (txt,jpg,gif,bmp).
- **Zahrnout / Vyloučit** – Pomocí toho lze vynechat hodnotu nebo položku z kalibrace.
- **Předpona veličiny** – Lze nastavit předponu pro velikost měření hodnoty, to se ovšem používá výjimečně, předponu veličiny si standardně určuje program sám.
- **Režim měření** – Je to seznam úkolů, které se vykonávají při kalibraci. Program má daný postup, ten lze ovšem změnit pomocí panelu režim měření. Pomocí režimu měření můžeme odebrat nebo naopak přidat úkony pro jednotlivé kategorie přístrojů. Pokud bylo měření v některém úseku nestabilní, lze nastavit jeho opakování.
- **Vyhodnocení** – Pomocí tohoto lze nastavit libovolnou hodnotu anebo vzorec pro výpočet nejistoty nebo mezní chyby přístroje. Pokud je automatické nastavení, program automaticky použije definované hodnoty z karet přístrojů, naměřené hodnoty, z nichž stanoví nejistoty měření (A a B).
- **Zaokrouhlení** – Mění způsob zaokrouhlování, a to pro jednotlivé sloupce. Existují dva způsoby, automatický - ten se skládá ze tří formátů anebo lze přímo nastavit počet desetinných míst.
- **Poznámka do protokolu** – Pomocí poznámky lze zapsat do výstupního protokolu další informace, maximálně čtyři položky.
- **Globální nastavení** – Toto nastavení platí pro celou proceduru, lze nastavit zastavení procedury, a to při hrubé chybě nebo při chybě komunikace. Hrubá chyba – naměřená hodnota překračuje více než pětikrát povolenou chybu. Chyba komunikace – počítač nekomunikuje s přístrojem po sběrnici. Součástí je také znak, kterým se na konci každého řádku protokolu charakterizuje výsledek hodnoty.
- **Průvodce vytváření procedur** – Lze pomocí něj přidat kontrolovanou funkci do procedury.
- **Export** – Exportuje výsledek kalibrační procedury do výstupního textového souboru.

1.7 Formát výstupního protokolu

Jednotlivé výsledky kalibrace jsou zaznamenávány programem do tabulky, která je vidět na obrázku č. 1.12. Ta se skládá z devíti sloupečků a řádků, každý řádek odpovídá jednomu kontrolnímu bodu. Ke každému řádku je stanovena nejistota měření a je zde uvedeno, zda měření vyhovuje specifikaci měřeného přístroje [1].

Znaky na konci řádku: [1]

- * - symbolizuje, že naměřená chyba je větší než povolená chyba
- ~ - symbolizuje, že naměřená hodnota je nestabilní
- R - symbolizuje, že všechny chyby a nejistoty jsou vztaženy k rozsahu
- ? - symbolizuje, že naměřená chyba je v intervalu mezní chyba \pm nejistota měření
- Ok - symbolizuje, že kontrolní bod je v pořádku

Funkce	Rozsah	Etalon	UUT	Odchylka	%spe	Povoleno	Nejistota	
VDC-2W	200 mV	20.0 mV	20.0 mV	-0 uV	0	200 uV	62 uV	ok
VDC-2W	200 mV	180.0 mV	180.6 mV	620 uV	62	1003 uV	71 uV	ok
VDC-2W	200 mV	-180.0 mV	-180.7 mV	-690 uV	-69	1003 uV	69 uV	ok
VDC-2W	2 V	0.200 V	0.200 V	-0.00 mV	0	2.00 mV	0.58 mV	ok
VDC-2W	2 V	1.800 V	1.807 V	7.00 mV	70	10.04 mV	0.58 mV	ok
VDC-2W	2 V	-1.800 V	-1.807 V	-6.80 mV	-68	10.03 mV	0.64 mV	ok
...								

Obr. 1.12: Ukázka výstupního protokolu [3]

Popis částí výstupního protokolu[1]:

- **Funkce** - Udává funkci testovaného přístroje.
- **Rozsah** - Udává rozsah testovaného přístroje, programem mu je automaticky přiřazena jednotka veličiny.
- **Etalon** - Etalonová hodnota kontrolního bodu doplněná vedlejším parametrem. Pokud se hodnoty parametrů nevejdou do sloupce (jeho šířky), je vytvořen odkaz a parametry se poté zapíše do dalšího řádku, a to jako poznámka. Je omezen počet zobrazených míst nejistotou měření, u měřidel je navíc omezení počtem míst displeje testovaného měřidla, pro výsledné zobrazení se používá pravidlo, které stanovuje menší rozlišení.
- **UUT** - Je to hodnota naměřená testovaným měřidlem, konkrétně aritmetický průměr několika hodnot. U zobrazení výsledků zde platí podmínky jako u etalonu.
- **Odchylka** - Udává chybu testovaného přístroje a počet zobrazených číslic je dán nejistotou měření.
- **%spe** - Spe je podíl odchylky a mezní povolené chyby, kdy výsledná hodnota je zobrazována v procentech. Když je čerpání specifikace větší než 999 %, je uvedeno 999% .

- **Povoleno** - Je jím udávána mezní povolená chyba testovaného přístroje, kdy počet zobrazených číslic je dán nejistotou měření.
- **Nejistota** - Je udávána rozšířená nejistota měření a počet zobrazených číslic je omezen na dvě platná místa.

2 Kalibrace osciloskopu

Při kalibrování osciloskopů se kalibrují následující parametry [5]:

- Vertikální výchylka
- Horizontální výchylka
- Doba náběhu a šířka pásma
- Interní kalibrační signály (interní reference)
- Spouštěcí jednotka
- Režim X-Y (zesílení a šířka pásma)

U osciloskopů, které mají vyměnitelné zásuvné moduly, je potřeba, aby byla zdokumentována individuální konfigurace (sériové číslo jednotky a pozice modulu).

2.1 Displej osciloskopů

Před tím, než se přechází k samotné kalibraci hlavních parametrů, je potřeba u mnoha osciloskopů zajistit správné nastavení základní geometrie osciloskopu. I toto lze považovat za součást kalibrace, protože měření parametrů závisí na vizuálních porovnáních. U analogových osciloskopů je mřížka samostatnou entitou od obrazů na obrazovce, to znamená, že pokud má být mřížka použita, je zapotřebí do kalibrace zahrnout její zarovnání. U DSO (digitální osciloskopy s pamětí) do určité míry odstranila potřebu vytvářet geometrické vazby mezi daty obrazovky a rastrem inovace elektronického rastru. To se děje automaticky a rotace trubek nenarušuje relativní zarovnání. Tam, kde se používá elektronický kurzor, je potřeba kalibrace napětového standartu. [6]

2.2 Kalibrace svislého vychýlení

Na ose Y bývají zobrazovány vstupní elektrické veličiny. U kalibrace svislého vychýlení existuje pět hlavních parametrů pro kalibraci, a to konkrétně [6]:

- Offset
- Zisk
- Linearita
- Šířka pásma
- Pulzní odezva

Tyto parametry jsou nejdůležitější pro dosažení přesné reprezentace signálů.

2.3 Kalibrace horizontálního vychýlení

Osa X je považována za časovou základnu. Kromě dvou vertikálních kanálů budou často používány i dvě časové základny (hlavní a zpožděná). U DSO (digitálních osciloskopů s pamětí) toho lze dosáhnout dvěma nezávislými vzorkovacími frekvencemi nebo pomocí umístěného okna zvětšení v jednom dlouhém úložišti. Při určování přesnosti vodorovného vychýlení musí být nastavena geometrie displeje. Kontrolované a kalibrované funkce[6]:

- Šířka pásma osy X
- Horizontální načasování
- Přesnost zpoždění časové základny
- Zvětšení času
- Zpoždění chvění
- Spouštěcí funkce
- XY fázový vztah

2.4 Kalibrace osy Z

Na začátku kalibrace je na vstup kanálu č. 1 a kanálu Ext Trig (vstup pro vnější spouštění časové základny) přiváděn sinusový signál o velikosti 3,5 Vp-p (peak-to-peak). Ovládací prvky rychlosti otáčení, sklonu spouště a úrovně spouštění jsou nastaveny tak, aby byl zobrazován 1 cyklus na divizi. Poté je vstup signálu z kanálu 1 odpojen a připojen na vstup osy Z. Signál by se měl "zhroutit" do série světlých ztlumených sekcí. Nastavením jasu osciloskopu stopu ztlumíme, a to tak, že rozjasněné části zmizí. Poté je zvýšena amplituda vstupního signálu na 5 Vp-p (peak-to-peak) a úpravou ovládacích prvků bychom měli dostat tečkovaný nebo přerušovaný signál [6].

2.5 Kalibrace interních signálů

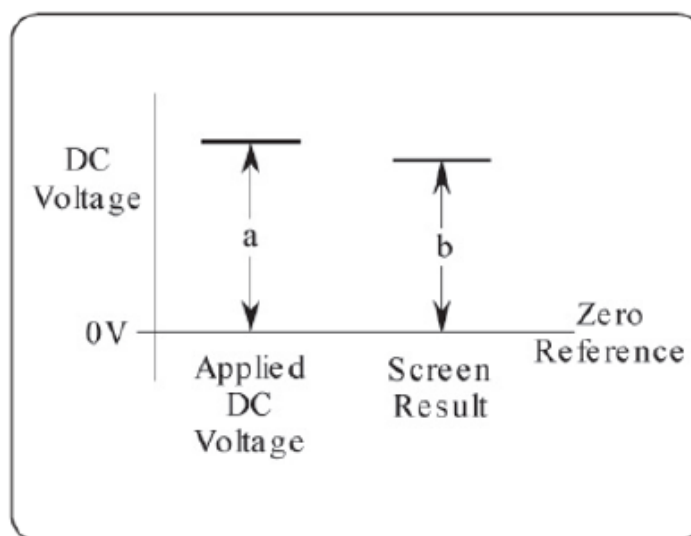
Amplitudy a frekvence interních kalibračních signálů musí být kalibrovány v souladu s předchozími body, taková měření vyžadují ve většině případů speciální techniky a to z důvodu, že interní kalibrační signály jsou často k dispozici ve formě napětového nebo proudového pulzu, ten se objevuje na zkušebním výstupu na předním panelu [5].

3 Kalibrace svislého vychýlení

3.1 Zisk

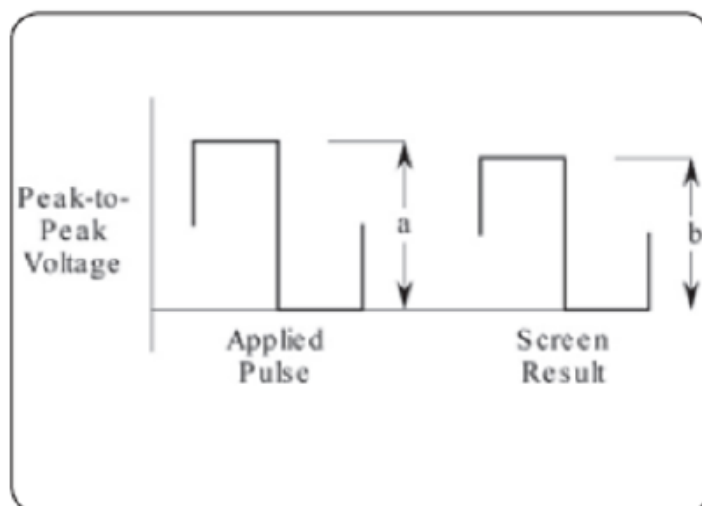
Kalibrace zisku zesilovače se obvykle dělá pomocí injekce standardního signálu a měřením jeho zobrazení proti mřížce displeje. Protože zesilovač je možné přepínat mezi střídavým a stejnosměrným proudem a také mezi vstupními impedancemi ($50\ \Omega$ a $1\ \text{M}\Omega$) je potřeba dodávat signály, které budou testovat činnost každého typu zapojení. Standardně se používají dva signály pro měření zesílení zesilovače, a to [6]:

- U stejnosměrné vazby buď stejnosměrný signál (viz obrázek č. 4.1), který zahrnuje offset nebo čtvercovou vlnu, kde lze manipulovat s odstraněním offsetu (viz obrázek č. 4.2). Odezva kanálu se měří proti rozdělení mřížky nebo odečtu kurzoru (u obou obrázků symboly a, b symbolizují jednotlivé velikosti signálů)
- U střídavé vazby se používá čtvercový signál o frekvenci 1 kHz a opět se měří odezva kanálu proti rozdělení mřížky nebo odečtu kurzoru



Obr. 3.1: Stejnosměrné napětí - zisk [6]

Pomocí nízkofrekvenčního impulzu můžeme hrubě zkontrolovat hrubé odezvy LF (Low filter) a HF (High filter), ovšem jedná se o velice hrubý test hrubého zkreslení. Lineární zesilovač kanálu lze otestovat pomocí „injekce“ stejnosměrného nebo obdélníkového signálu, který mění amplitudu a kontroluje změny proti hodnotám mřížky nebo kurzoru [6].



Obr. 3.2: Obdélníková vlna [6]

3.2 Pulzní odezva

Zobrazení doby náběhu rychlých hran pulzu je jednou ze dvou doplňkových metod kalibrace odezvy vertikálního kanálu na pulzní vstupy. Odezva na rychlé hrany závisí na vstupní impedanci testovaného osciloskopu ($50\ \Omega$ a $1\ \text{M}\Omega$). $1\ \text{M}\Omega$ průmyslový standardní vstup používaný u pasivních sond, $50\ \Omega$ poskytuje optimální přizpůsobení vysokofrekvenčním signálům. Pro kalibraci doby náběhu je pulzní signál injektován do testovaného kanálu, kde spouštěč a časová základna jsou upraveny tak, aby poskytovaly měřitelný obraz na obrazovce, čas náběhu a pádu je pak měřen proti odečtu hodnot mřížky nebo kurzoru. Pozorovaná doba nárůstu a poklesu má dvě složky (pro aplikovaný signál a pro testovaný signál). Jsou kombinovány jako kořen čtverců, takže pro výpočet času je zapotřebí vzorec [6]:

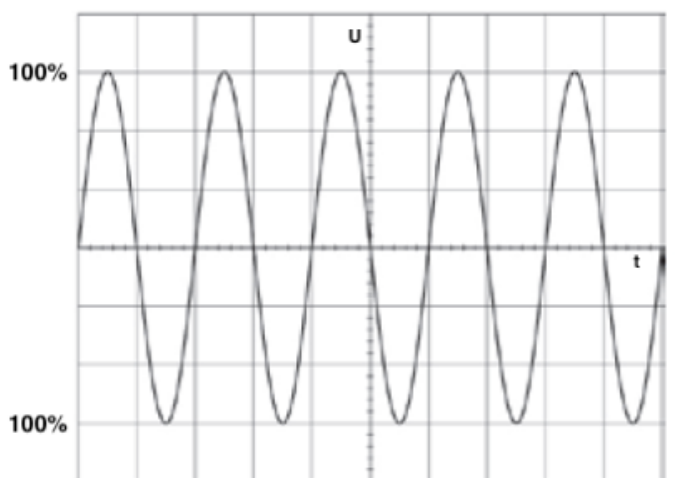
$$(t_n)/(t_p) = \sqrt{(t_{poz})^2 - (t_{ap})^2} \quad (3.1)$$

kde: t_n - je čas náběhu, t_p - je čas poklesu, t_{poz} - je pozorovaný čas, t_{ap} - je aplikovaný čas signálu

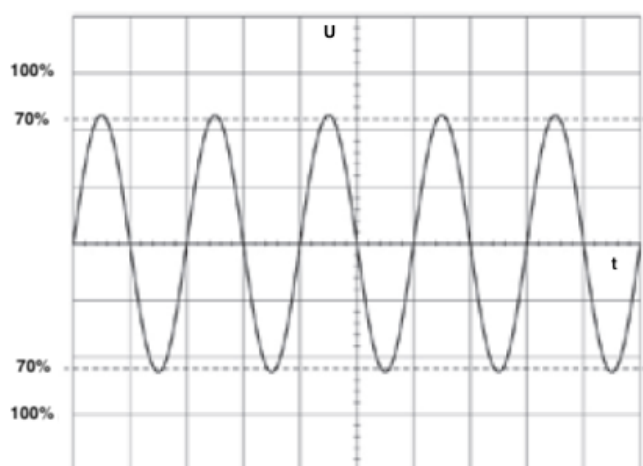
U některých osciloskopů je vertikální mřížka speciálně označena (0 %, 10 %, 90 % a 100 %, a to proto, aby bylo možné amplitudu pulzu srovnat se značkami 0 a 100 % a poté změřit křížené body 10 % a 90 % proti středové horizontální mřížce [6] .

3.3 Šířka pásma

Kromě stanovení pulzní odezvy sledováním vzorkového pulzu na obrazovce by měla být prováděna kalibrace zesilovače šířky pásma pomocí vyrovnané sinusové vlny. To by se mělo provádět při vstupní impedanci $50\ \Omega$. Nejprve se zobrazí amplituda vstupní sinusové vlny při referenční frekvenci (většinou 50 kHz). Šířka pásma je správná, pokud pozorovaná amplituda je v bodu 3 dB rovna nebo větší než 70 % hodnoty při referenční frekvenci. Pokud je nutné stanovit skutečný bod 3 dB, frekvence by měla být zvýšena, dokud amplituda špička-špička (peak-to-peak) není 70 % hodnoty referenční frekvence (poté se frekvence blíží bodu 3 dB) [6].



Obr. 3.3: Nastavení amplitudy na 100 % [6]

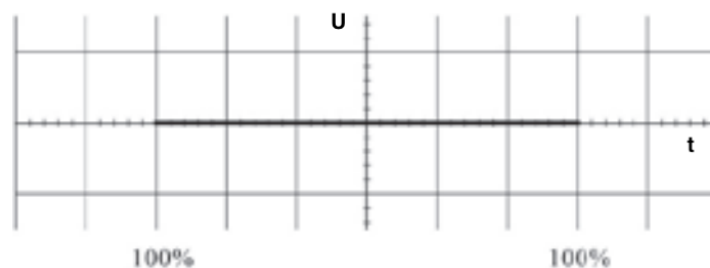


Obr. 3.4: Měření amplitudy při bodové frekvenci 3dB [6]

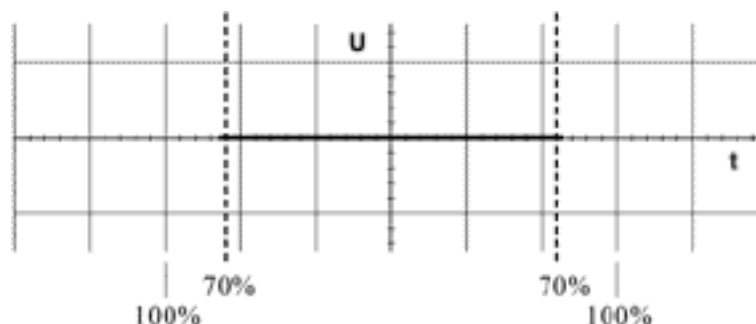
4 Kalibrace horizontálního vychýlení

4.1 Šířka pásma osy X

U osciloskopů v bude šířka pásma horizontálního zesilovače kalibrována pomocí vyrovnané sinusové vlny podobně jako u kalibrace vertikálních kanálů, ale s vypnutou časovou základnou. To se skládá nejprve z měření zobrazené délky vodorovné stopy, jak vidíme na obrázku č. 5.1 pro sinusovou vlnu poskytnutou jako vstup X při referenční frekvenci (obvykle 50 kHz). Frekvence se pak stejnou amplitudou změní na zadaný bod 3 dB horizontálního zesilovače a opět se změří zobrazená délka stopy, jak je vidět na obrázku č. 5.2. Šířka pásma je správná, pokud je pozorovaná délka trasování bodů 3 dB rovna nebo větší než 70 % délky při referenční frekvenci [6]. DSO (digitální osciloskopy s pamětí) obecně používají vertikální kanálový zesilovač jako horizontální zesilovač, takže po kalibraci vertikální šířky pásma průhybu není obecně nutné kalibrovat horizontální šířku pásma vychýlení [6].



Obr. 4.1: Nastavení délky stopy na referenční frekvenci [6]



Obr. 4.2: Měření délky stopy při bodové frekvenci 3dB [6]

4.2 Horizontální načasování

V tomto testu se časová základna přepne na rychlost rozmítání (čas/dílek), která má být kalibrována. Výstup z generátoru časovače je vstup přes požadovaný vertikální kanál. Na kalibrátorech určených pro osciloskopy se jedná o obdelníkové vlny, které se mění na sinusové při určité frekvenci. Obdelníkový signál se používá, protože výrazně snižuje nepřesnosti způsobené kvůli jednobodovému chvění [6].

Přesnost časování 25ppm (miliontin) bude dostatečná pro kalibraci většiny osciloskopů v reálném čase i u mnoha DSO (digitální osciloskop s pamětí). U některých výkonnějších DSO je vyžadována přesnost časování 0,3ppm [6].

4.2.1 Kalibrace horizontálního načasování

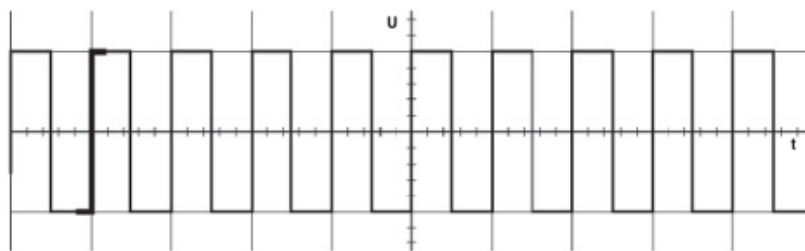
Načasování značky je nastaveno tak, aby poskytovalo jeden cyklus na rozdělení, pokud je horizontální načasování správné. Pozorováním se upraví regulace odchylek generátoru značek tak, aby se značky zarovnaly za jejich odpovídající vertikální mřížkové čáry a poté je zaznamenána odchylka, která by neměla překročit specifikace osciloskopu [6].

4.3 Přesnost zpoždění časové základny

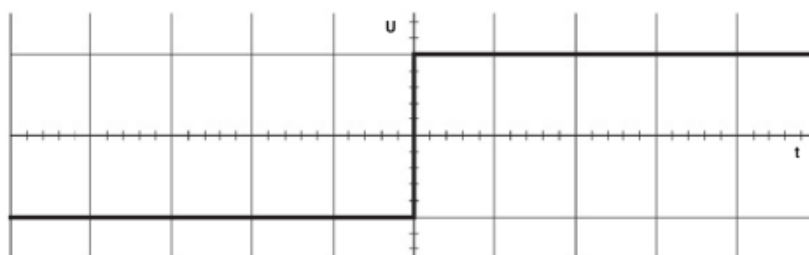
U tohoto testu se předpokládá, že zpožděná časová základna je označena jako zesílení hlavní časové základny a lze ji přepnout tak, aby zobrazovala samotnou zpožděnou časovou základnu. U všech osciloskopů je potřeba se ujistit, že je vypnutý režim spouštěče.

Výstup z generátoru časových značek vstupuje přes vertikální kanál a nastavení osciloskopu je upraveno tak, aby zobrazoval jeden cyklus na dílek, jako je vidět na obrázku č. 5.3. Přepínač režimu osciloskopu je nastaven tak, aby zesílil zpožděnou část hlavní časové základny přes vybranou hranu.

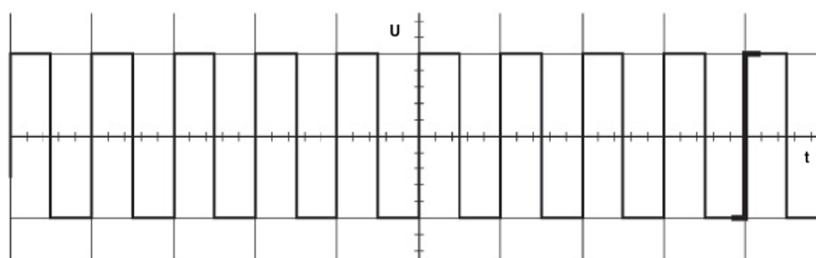
Dále je přepínač režimu nastaven tak, aby zobrazoval samotné zpožděné rozmítání a ovládání zpoždění je upraveno tak, aby zarovnálo hranu časové značky k vybrané svislé přímce nuly (například čára středové mřížky, jako je na obrázku č. 5.4). Nastavení zpoždění osciloskopu je zaznamenáno, přepínač se poté nastaví tak, aby zesílil zpožděnou část hlavní časové základny přes jinou hranu, jaká vidíme na obrázku č. 5.5. Potom se přepínač režimu opět nastaví tak, aby zobrazoval zpožděné rozmítání a ovládání zpoždění tak, aby zarovnálo hranu časové značky se stejnou svislou čarou jako na obrázku č. 5.6. Nastavení osciloskopu je opět zaznamenáno. Nakonec se porovnají obě nastavení zpoždění, aby byl jejich rozdíl stejný jako čas mezi dvěma vybranými značkami v rámci stanovených limitů pro osciloskop [6].



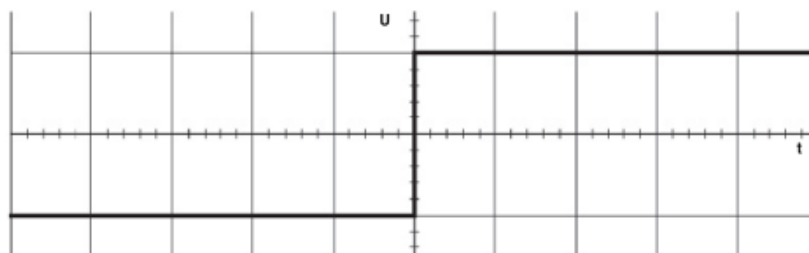
Obr. 4.3: Ukázka zpoždění časové základny se zintenzivněním na hlavní časové ose [6]



Obr. 4.4: Ukázka samotné zpožděné časové základny [6]



Obr. 4.5: Ukázka zpoždění časové základny se zesílením na hlavní časové ose [6]



Obr. 4.6: Ukázka samotné zpožděné časové základny [6]

4.4 Zpoždění chvění

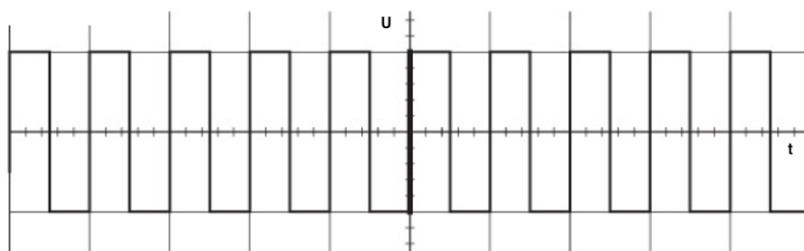
Zpoždění chvění na osciloskopech se často kalibruje při časovém zvětšení (řádově 20000:1). Z toho vyplývá, že zpožděná časová základna musí běžet 20 000krát rychleji než hlavní časová základna. Pro tento test se zesílení hlavní časové základny nastaví na hranu ve střední čáře mřížky (s takovým rozdílem mezi rychlostmi hlavní a zpožděné časové základny je zesílena velmi malá část hlavní časové základny a nastavení může být obtížné).

Výstup 20 ms z generátoru časovače je vstupem do požadovaného vertikálního kanálu a osciloskop je nastaven tak, aby zobrazoval jeden cyklus na úsek (20 ms/div) jak znázorněno na obr. 5.7.

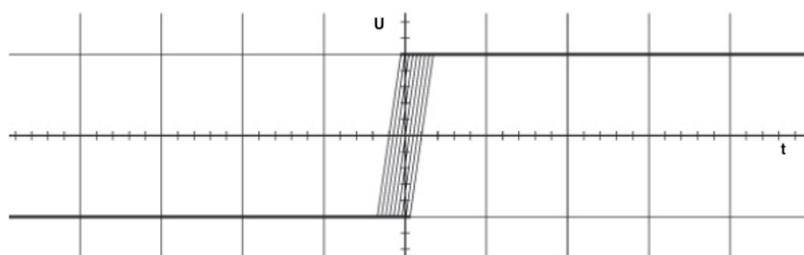
Zpožděná časová základna je nastavena na 1 μ s/ div a přepínač režimu osciloskopu je nastaven tak, aby zesílil zpožděnou část hlavní časové základny nad středový dílek značky, jak je znázorněno pomocí kontroly doby zpoždění osciloskopu.

Přepínač režimu zpoždění osciloskopu je nastaven tak, aby zobrazoval zpožděné rozmítání samostatně. Ovládání zpoždění je nastaveno tak, aby odpovídalo okraji časové značky na zvolenou svislou vztahnou čáru (např. středová čára rozdělení mřížky, jak vidíme na obr. 5.8).

Šířka svislé hrany (která zobrazuje kolísání) zobrazené části křivky měřené podél vodorovné osy by neměla překročit meze kolísání osciloskopu (tj. v tomto příkladu pro specifikaci 20 000:1 by měl být příspěvek osciloskopu k šířce menší než 1 dílek) [6].



Obr. 4.7: Zpožděná časová základna se zesílila na hlavní časové ose [6]



Obr. 4.8: Okraj zobrazující chvění na zpožděné časové základně [6]

4.5 Spouštěcí funkce

Pro většinu osciloskopů existuje široká škála spouštěcích režimů, které jsou získávány buď prostřednictvím nominovaného vstupního kanálu Y, nebo ze samostatného externího spouštěcího vstupu. Funkce spouštěcích režimů umožňují AC nebo DC vazby, opakované nebo jednorázové vychýlení a ovládání úrovně spouštění. Tyto testy kontrolují činnost [6]:

- Vnitřní citlivost spouště v obou polaritách, z každého z dostupných vstupních kanálů Y
- Ovládání spouštěcí úrovně pro sinusovou vlnu externího spouštěcího vstupu
- Vliv svislé polohy na citlivost spouště
- Minimální spouštěcí úrovně pro normální režimy a pro režimy spouštěcího zobrazení
- Šířka pásma spouštěcích obvodů a účinek filtrů s vysokou frekvencí odmítnutí
- Nízký frekvenční a stejnosměrný výkon spouštěcích obvodů
- Výkon a odezva na ovládání polohy jednorázového vychýlení

4.5.1 Interní spouštěče

Počáteční nastavení – Standardní referenční sinusový signál, který má hodnotu 4 V_{p-p} (peak-to-peak), vstupuje přes AC vazbu do vstupního kanálu Y. Pomocí vnitřních

spouštěčů a stejnosměrné vazby (ne „Auto“) jsou postupně vybírány kladné a záporné sklony. Nastavení rychlosti rozmítání je 10 us/dílek a citlivost kanálu Y je 0,5V/dílek. Z toho vyplývá, že vstupní signál zabere 8 dílků.

Nastavení úrovně spouštění – Přes téměř celý rozsah musí být ukázáno ovládání spouštěcí úrovně, aby se vytvořila stabilní stopa, pohybující se počátečním bodem v rozsahu horní a dolní úrovně po zvoleném sklonu zobrazené sinusové vlny.

Citlivost spouštění – Když je vstupní signál snižen na 10 % jeho amplitudy, musí být prokázáno, že nastavení kontroly spouštěcí úrovně znovu předpokládá stabilní spouštění. Při přepnutí spouštěcí vazby do AC a při použití svislého polohování na horní a dolní meze obrazovky displeje musí být stabilní spouštěč zachován [6].

4.6 XY fázový vztah

4.6.1 Vstup X

V závislosti na typu osciloskopu bude vstup X připojen buď přes konektor externího spouštěče, nebo prostřednictvím kanálu 1 s vhodným přepínáním. Pro obě osy bude použit stejný signál a to 50mV, 50 kHz [6] .

4.6.2 Test fázování

Počáteční nastavení – Vertikální režim – XY, citlivost na 5 mV/dílek, kanál č. 1 AC vazba a kanál č. 2 uzemněn. Svislá i horizontální poloha by měla být vycentrovaná. Získávání stop – Intenzita je upravována, dokud není viditelná vodorovná stopa (měla by mít 10 dílků). Poté, co byly k vycentrování stopy použity ovládací prvky pro polohy X a Y, se pro nejlepší zobrazení upraví ovládací prvky intenzity a zaostření. Kontrola fázování – Společný vstupní signál je redukován, dokud stopa není 8 dílků dlouhá. Kanál č. 2 (Y) respektive jeho vstupní režim je přepnut na DC a ovládací prvky X a Y se používají k centrování (nyní skloněné) stopy. Pokud není chyba fáze mezi X a Y, potom střed průběhu projde počátkem. Chyba fáze mezi X a Y způsobí rozdělení průběhu na elipsu, která bude u malých chyb zřejmá pouze v blízkosti počátku. Separace průběhu v počátku a podél středové čáry mřížky by neměla být větší než 0,4 dílku pro běžně specifikovaný fázový posun o 3 stupně [6] .

5 Kalibrovaný osciloskop

Jako osciloskop určený pro kalibraci byl vybrán osciloskop od výrobce Rhode&Schwarz, konkrétní model RTB2002. Vybrán byl proto, že oproti ostatním osciloskopům nedisponuje vysokou přesností, je dobře manuálně ovladatelný a zároveň ho lze dobře vzdáleně ovládat za pomoci různých typů komunikace, jako je například RS232, RS485, VISA, SPI, CAN. Jedná se o dvoukanálový osciloskop, který disponuje šířkou pásma 70 MHz, dále obsahuje 10 bitový A/D převodník, vstupní impedance je rovna $1\text{ M}\Omega$, rozlišení displeje je od 1 mV/div po 5 V/div . Osciloskop má dotykový displej o rozměrech 1280×800 pixelů [11].



Obr. 5.1: Osciloskop Rhode&Schwarz RTB2002 [11]

Choose your Rohde & Schwarz oscilloscope	
	R&S RTB2000
Number of oscilloscope channels	2/4
Bandwidth in MHz	70, 100, 200, 300
Max. sampling rate in Gsample/s	1.25/channel, 2.5 interleaved
Max. memory depth in Msample	10/channel, 20 interleaved; 160 Msample (optional) segmented memory
Timebase accuracy in ppm	2.5
Vertical bits (ADC)	10
Min. input sensitivity	1 mV/div
Display	10" capacitive touch, 1280 x 800 pixel
Update rate	300000 waveforms/s in fast segmentated memory mode
MSO	16 channels, 2.5 Gsample/s
Protocol (optional)	PC, SPI, UART/RS-232/ RS-422/RS-485, CAN, LIN
Generator(s)	1 ARB, 4-bit pattern generator
Math	+, -, *, /, FFT (128k points)
Rohde & Schwarz probe interface	-
RF capability	FFT

Obr. 5.2: Ukázka specifikací osciloskopu Rhode&Schwarz RTB2002 [15]

6 Kalibrátor 9010

Jedná se o multifunkční kalibrátor od firmy Meatest, který je univerzálním etalonovým zdrojem. Je určený do kalibračních laboratoří, pro kalibrování měřicích přístrojů, jako například: multimetry, wattmetry, elektrické převodníky, osciloskopy a mnoho dalších přístrojů.

Tento kalibrátor má vysokou zatížitelnost napěťových vstupů (až 50 mA). Je s ním možné kalibrovat i analogová měřidla náročná na příkon. Kalibrátor má pevně instalované neharmonické tvarové signály, což umožňuje testování údajů měřidel signálem s nenulovým činitelem zkreslení.

Dále má 9010 posílený výkonový vstup s funkcí duálního napěťového výstupu. Na přání zákazníka lze dovybavit kalibrátor frekvenčním výstupem 400 MHz, nebo programovatelnou vysokonapětovou dekádou do 1,5 kV, či vestavěným procesním multimetrem [9].



Obr. 6.1: Kalibrátor 9010 [9]

DC napětí	0 - 1050 V ± 35 ppm / rok
AC napětí	1 mV - 1050 V, 15 Hz - 300 kHz Sinusové a nesinusové průběhy, harmonické zkreslení ± 250 ppm / rok
DC proud	0 - 20 A (s cívkou 140-50 až 1000 A) ± 150 ppm / rok
AC proud	10 uA - 20 A, 15 Hz - 10 kHz (s cívkou 140-50 až 1000 A) Sinusové a nesinusové průběhy, harmonické zkreslení ± 500 ppm / rok
DC výkon a energie	40 uW - 5.6 kW (s cívkou 140-50 až 280 kW) ± 210 ppm / rok
AC výkon a energie	40 uW - 5.6 kW, 15 - 1000 Hz (s cívkou 140-50 až 280 kW) až 50 harmonických složek, duální napěťový výstup ± 730 ppm / rok
Odpor	0 Ω - 1 GΩ, 6½ místné rozlišení ± 15 ppm / rok
Izolační odpor	100 kΩ - 100 GΩ maximální napětí až 1.5 kV
Kapacita	800 pF - 120 mF, 6½ místné rozlišení ± 0.5 % / rok
Teplota	Termočlánky BCDEG ₂ JKMNRST s kompenzací studeného konce RTD ± 0.03°C / rok
Frekvence	0.1 Hz - 400 MHz ± 25 ppm / rok

Obr. 6.2: Specifikace kalibrátoru 9010 [9]

7 Sestavení kalibrační procedury

Kalibrační proceduru, která je určena pro kalibraci daného typu osciloskopu, respektive jednotlivé funkce, za pomoci kterých byl osciloskop kontrolován, lze vidět níže.

1. Kalibrace vertikální osy:

- Funkce VDC_2W - je to funkce určená pro stejnosměrná napětí, konkrétně v tomto případě se využívá pro kontrolu linearity vertikální osy pomocí stejnosměrného napětí, zadávají se do ní jednotlivé hodnoty napětí

- Funkce VAC_2W - je funkce, která je určena pro střídavá napětí podobně jako funkce VDC_2W s rozdílem, že má na starosti kontrolu vertikální osy, ovšem za pomoci napětí střídavého, konkrétně sinusového signálu o určité frekvenci

- Funkce V_SCOS - je funkce, která slouží pro kontrolování šířky pásma osciloskopu, zadávané parametry jsou hodnoty napětí a frekvence

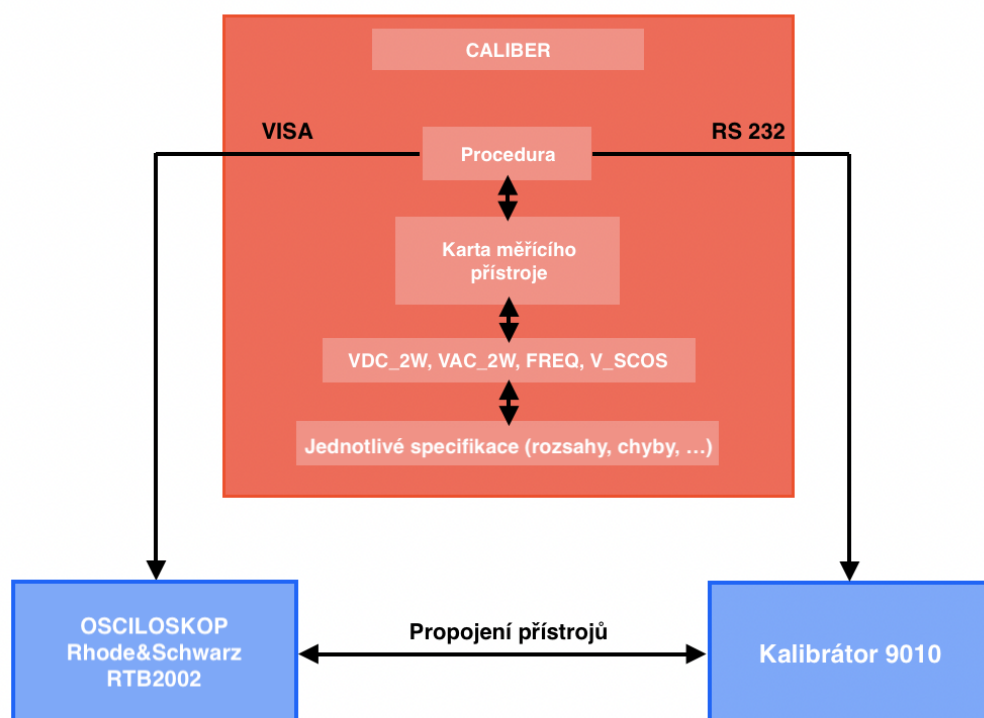
2. Kalibrace horizontální osy:

- Funkce FREQ1 - tato funkce slouží pro frekvenci a s její pomocí je kontrolována horizontální osa osciloskopu (časová základna), do ní jsou zadávány jednotlivé hodnoty frekvence

Jak je vidět v jednotlivých bodech výše, pro kontrolu vertikální a horizontální osy osciloskopu je v programu Caliber vytvořena procedura, která má za úkol zkontrolovat daný osciloskop a jeho správnou funkčnost. Pro kontrolu jednotlivých parametrů jsou využívány jednotlivé funkce zmíněné výše. Pro kontrolu vertikální osy jsou určeny funkce VDC_2W a VAC_2W (kontrola linearity vertikální osy). Dále se v proceduře nachází funkce V_SCOS, která má za úkol kontrolovat šířku pásma osciloskopu. Pro kontrolu horizontální osy osciloskopu (časové základny) je určena funkce FREQ1.

Na obrázku č. 7.1 je znázorněno blokové schéma fungování celé kalibrační procedury. Obrázek je rozdělen na tři části, konkrétně program Caliber, kalibrovaný osciloskop a kalibrátor 9010. V prostřední části lze vidět strukturu programu Caliber. Nejvyšší pozici zastává vytvořená procedura, která se skládá z jednotlivých karet měřicího přístroje a karty kalibrátoru 9010. Karta měřicího přístroje je tvořena výše zmíněnými funkcemi, tyto funkce se skládají z jednotlivých rozsahů a specifikací. Dále se zde nachází nastavení komunikace a jednotlivých příkazů pro ovládání kalibrovaného osciloskopu. Tato problematika je popsána v následujících podkapitolách. Dále lze vidět oba přístroje, které se využívají. Co se týče kalibrovaného osciloskopu, je zvolena komunikace pomocí VISA, v případě kalibrátoru 9010

probíhá komunikace s programem Caliber pomocí sběrnice RS232. Jednotlivé přístroje jsou mezi sebou propojeny podle potřeby (pro funkce VDC_2W a VAC_2W) jsou připojeny svorky HI,LO (HIGH,LOW) na kalibrátoru 9010 a CH1 (channel 1) na kalibrovaném osciloskopu, pro funkce V_SCOS a FREQ1 jsou připojeny svorky HF na kalibrátoru 9010 a CH1 na kalibrovaném osciloskopu společně s připojeným 50ohmovým přizpůsobením). I tato problematika je probírána v následujících podkapitolách.



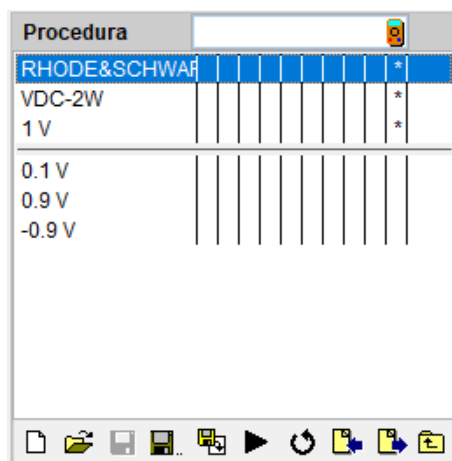
Obr. 7.1: Blokové schéma provedení kalibrace

7.1 Hlavní a vedlejší body kalibrace

Při tvorbě kalibrační procedury bylo nutné pro jednotlivé funkce definovat jednotlivé body, pro které má být kalibrační procedura vykonávána. Jedná se o body, respektive jednotlivé hodnoty, ty jsou voleny na základě definovaných rozsahů, které mají být kalibrovány.

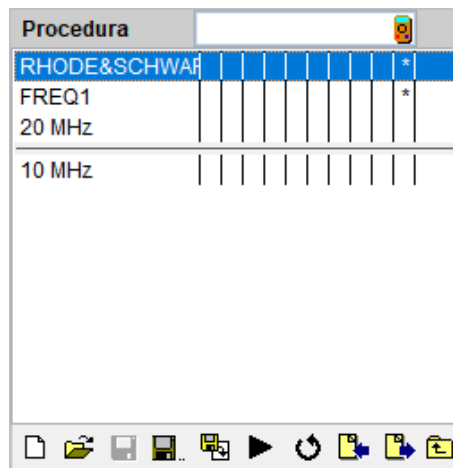
7.1.1 Kalibrační body funkce VDC_2W

Pro jednotlivé rozsahy funkce VDC_2W (volby jednotlivých rozsahů se nachází v kapitole 7.2.1) byly voleny jednotlivé hodnoty pro kalibraci vždy jako 10%, 90% a -90% z daného rozsahu, jak lze vidět na obrázku č. 7.2, a to z toho důvodu, že při provádění funkce VDC_2W jsou měřeny v režimu peak to peak (vrchol vrchol) a je nutné zkontrolovat pokud možno hodnoty z celé oblasti rozsahu.



Obr. 7.2: Příklad zadání kalibračních bodů pro funkci VDC_2W pro rozsah 1V

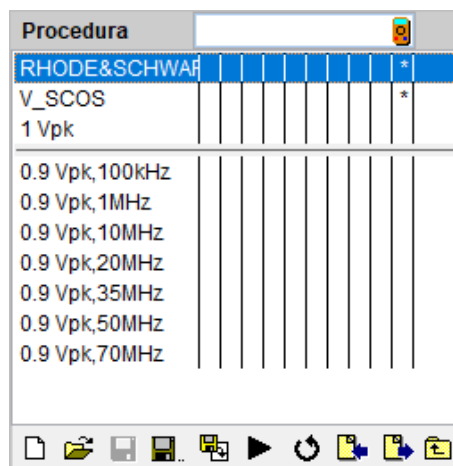
Výjimku tvoří rozsah pro hodnotu 10V, kde jsou jednotlivé body pro kalibraci definovány od -90 % po 90 % po 10 %. Zde se jedná o vedlejší body kalibrace, pomocí kterých je kontrolována linearita vertikální osy. Tento vedlejší bod je testován na rozsahu pro 10V proto, že se jedná o nepřesnější rozsah, na rozdíl od ostatních měřicích přístrojů, kde nepřesnější rozsahy bývají ty nejvyšší.



Obr. 7.4: Příklad zadání kalibračního bodu pro funkci `FREQ1`

7.1.4 Kalibrační body funkce V_SCOS

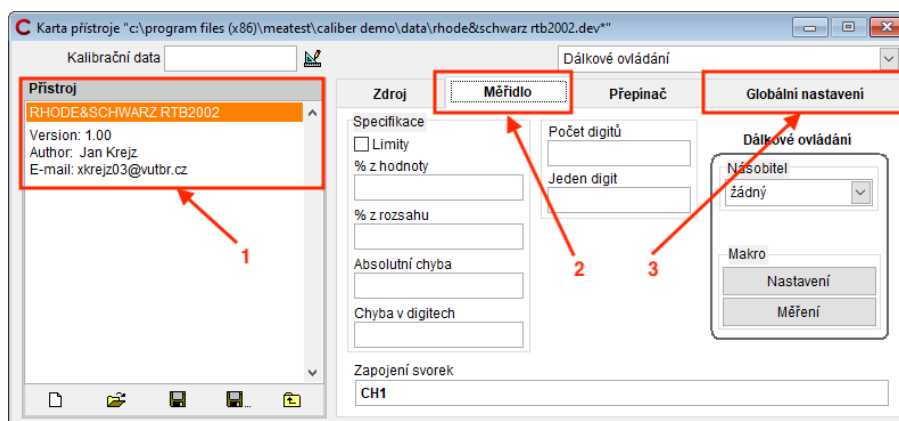
Pro funkci V_SCOS, která má za úkol kontrolovat šířku pásma, byly opět zvoleny jednotlivé napěťové rozsahy zobrazené v kapitole 7.2.1. Jako hlavní body byly voleny hodnoty napětí, které odpovídají 90 % z rozsahu. Pro vedlejší body byly voleny jednotlivé frekvence pro kontrolu šířky pásma. Jednotlivé zvolené frekvence lze vidět na obrázku č. 7.5. Frekvence byly voleny tak, aby otestovaly celou šířku pásma do 70 MHz.



Obr. 7.5: Příklad zadání kalibračních bodů pro funkci V_SCOS pro rozsah 1V

7.2 Měřicí karta osciloskopu

Pro vytvoření kalibrační procedury je zapotřebí mít vytvořené jednotlivé karty přístrojů. Z tohoto důvodu bylo nutné v programu Caliber vytvořit měřicí kartu kalibrovaného osciloskopu (Rhode&Schwarz RTB2002), která je vidět níže na obrázku 7.6.



Obr. 7.6: Karta přístroje osciloskopu Rhode&Schwarz RTB2002

Vytvořená karta pro kalibrovaný osciloskop (Rhode&Schwarz RTB2002) obsahuje 3 důležité oblasti, které jsou na obrázku označeny červenými rámečky.

1. Přístroj - První oblast nese název Přístroj. V této části najdeme základní informace, jako je název přístroje, pro který je karta tvořena, dále se zde nachází informace o autorovi a verze karty.
2. Měřidlo - Oblast č. 2 se nazývá Měřidlo. V kartě přístroje je vždy nutné zvolit, o jaký přístroj se jedná (Zdroj, Měřidlo, Přepínač), v dané záložce se poté nastavují jednotlivé funkce pro kalibraci a jejich rozsahy a dále také dálkové ovládání daného přístroje (pokud jej podporuje).
3. Globální nastavení - Třetí oblast nese název Globální nastavení. Tato záložka je určena pro nastavování komunikace mezi přístrojem, kalibrátorem a programem Caliber.

7.2.1 Vytváření funkcí

Po vytvoření karty následuje část, ve které se do karty přístroje musí nadefinovat pravidla/funkce pro kalibraci jednotlivých parametrů osciloskopu, jak je vidět na obrázku č. 7.7. Jedná se konkrétně o funkce VDC_2W, FREQ1, V_SCOS a VAC_2W. Po nadefinování jednotlivých pravidel/funkcí je nutné uvnitř každé funkce nastavit jednotlivé specifikace, jakými jsou chyby jednotlivých hodnot, případně rozsahů,

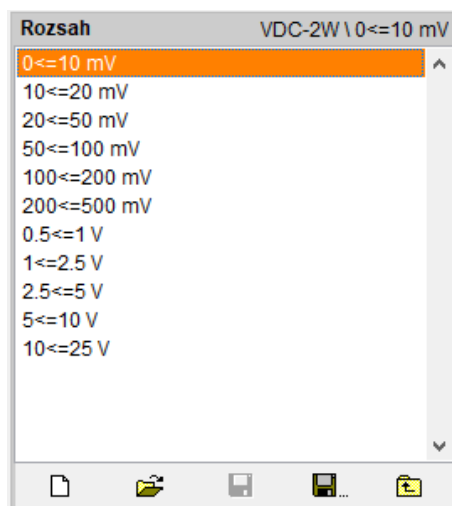
dále je zde nutné definovat a nastavit jednotlivé příkazy pro dálkové ovládání měřeného přístroje a jako poslední je nutno definovat svorky měřeného přístroje, které se pro kalibraci využívají.



Obr. 7.7: Pravidla generování

Funkce VDC_2W

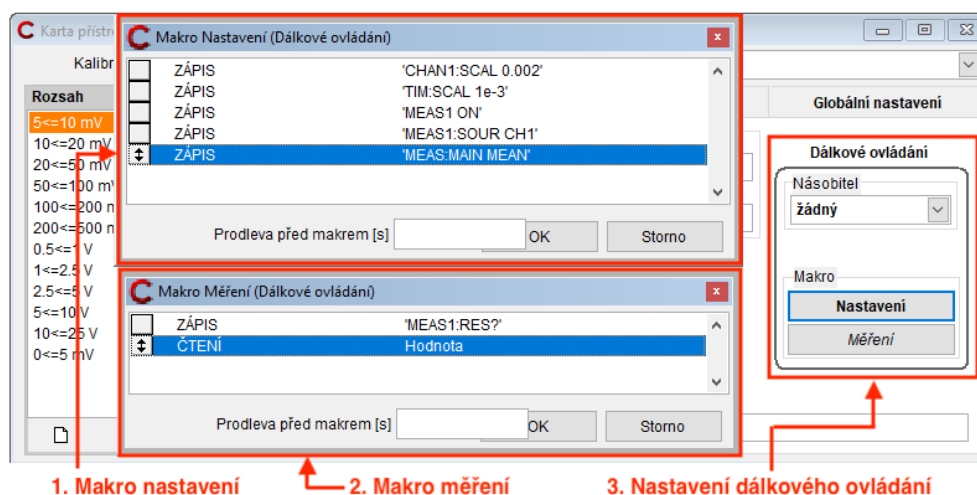
Jedná se o funkci pro stejnosměrná napětí. Toto pravidlo slouží ke kontrole vertikální osy osciloskopu. Po vytvoření této funkce je nutné definovat jednotlivé rozsahy, které mají být kalibrovány, ty můžeme vidět na obrázku 7.8. Rozsahy byly voleny na základě informací z datasheetu (od 1mV/div až po 5V/div), z toho důvodu byly zvoleny rozsahy od 10mV po 50V (na obrázku je vidět maximum 25V, to z toho důvodu, že se jedná o hodnoty peak to peak). Pro jednotlivé rozsahy je dále nutné definovat specifikace (zadání povolené chyby). Z datasheetu je patrné, že pro hodnoty menší než 5mV/div je povolená chyba $\pm 2\%$ z rozsahu a pro hodnoty větší než 5mV/div je povolená chyba $\pm 1,5\%$ z rozsahu [13].



Obr. 7.8: Rozsahy funkce VDC_2W

Po nastavení jednotlivých rozsahů a jejich specifikací je nutné nastavit v části s dálkovým ovládáním jednotlivá makra pro ovládání osciloskopu (Makro zápisu a

Makro měření). Na obrázku 7.9 je možno vidět jednotlivá makra pro zápis a čtení hodnot z osciloskopu. Pro správné fungování funkce VDC_2W je nejprve nutné nadefinovat příkazy s parametry, které mají za úkol nastavit správně osciloskop, a to tak, aby mohl být daný rozsah správně přečten a zkalibrován. Pro každý rozsah jsou využívána stejná makra nastavení, pouze s jinými hodnotami. Ukázku makra lze vidět na obrázku 7.9. V tabulce č. 7.1 se poté nachází seznam jednotlivých příkazů, které jsou pro ovládání využity. Údaje uvedené v tabulce vychází z [12].



Obr. 7.9: Dálkové ovládání VDC_2W

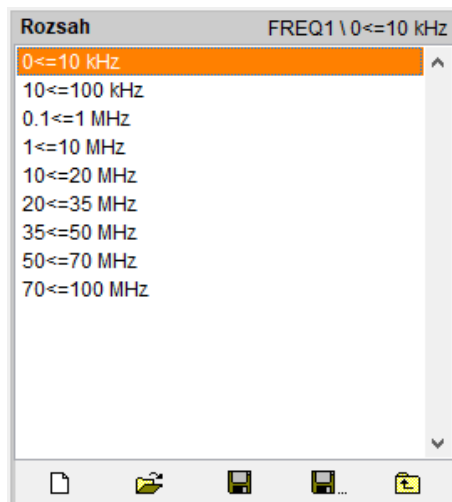
Tab. 7.1: Tabulka pro jednotlivé příkazy maker zápisu a čtení

Funkce	Její význam
CHAN1:SCAL <Scale>	Nastavení rozsahu vertikální osy
TIM:SCAL <Scale>	Nastavení rozsahu časové základny
MEAS1 ON	Povolení měření
MEAS1:SOUR CH1	Výběr kanálu, se kterým se bude pracovat
PROB1:SET:GAIN:MAN 1	Nastavení zisku sondy
MEAS:MAIN MEAN	Nastavení typu měřené hodnoty (MEAN - střední hodnota)
MEAS1:RES?	Příkaz pro změření hodnoty
ČTENÍ	Příkaz pro načtení hodnoty

Funkce FREQ1

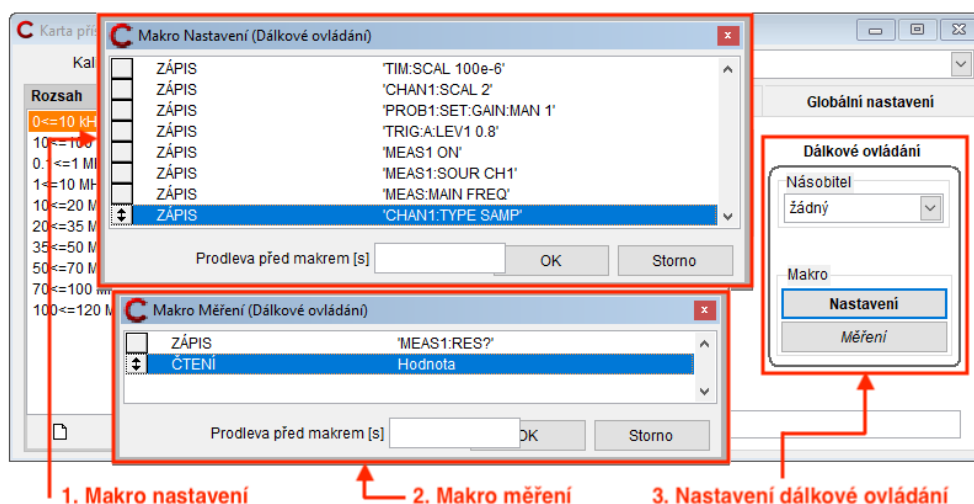
Pravidlo FREQ1 je funkce určená pro kontrolu frekvencí, v tomto případě je určena pro kontrolu a kalibraci horizontální osy osciloskopu. I v případě této funkce byly

nastaveny jednotlivé rozsahy. Osciloskop umožňuje měření do 70 MHz. Jednotlivé rozsahy zde byly voleny kvůli nastavování různých hodnot časové základny dle potřeby. Jednotlivé rozsahy lze vidět na obrázku 7.10. Specifikace byly opět voleny na základě hodnot z datasheetu osciloskopu, kde výrobce uvádí chybu $\pm 3,5$ ppm [13].



Obr. 7.10: Rozsahy funkce FREQ1

Po nastavení jednotlivých rozsahů i specifikací byla nastavena jednotlivá makra pro ovládání osciloskopu, která lze vidět na obrázku 7.11. I v tomto případě jsou pro všechny rozsahy nastavena stejná makra, pouze s rozdílnými hodnotami pro jednotlivé rozsahy. Seznam jednotlivých příkazů, které jsou využívány pro nastavení osciloskopu, je potom v tabulce 7.2. Údaje uvedené v tabulce vychází z [12].



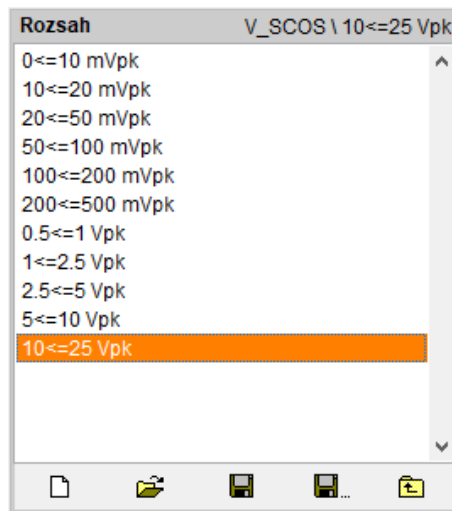
Obr. 7.11: Dálkové ovládání FREQ1

Tab. 7.2: Tabulka pro jednotlivé příkazy maker zápisu a čtení pro funkci FREQ1

Funkce	Její význam
CHAN1:SCAL <Scale>	Nastavení rozsahu vertikální osy
TIM:SCAL <Scale>	Nastavení rozsahu časové základny
PROB1:SET:GAIN:MAN 1	Nastavení zisku sondy
TRIG:A:LEV1 <value>	Nastavení Levelu (laicky zastavení průběhu)
MEAS1 ON	Povolení měření
MEAS1:SOUR CH1	Výběr kanálu, se kterým se bude pracovat
MEAS:MAIN FREQ	Nastavení typu měřené hodnoty (FREQ - frekvence)
CHAN1:TYPE SAMP	Nastavení měřicího režimu do SAMPLE
MEAS1:RES?	Příkaz pro změření hodnoty
ČTENÍ	Příkaz pro načtení hodnoty

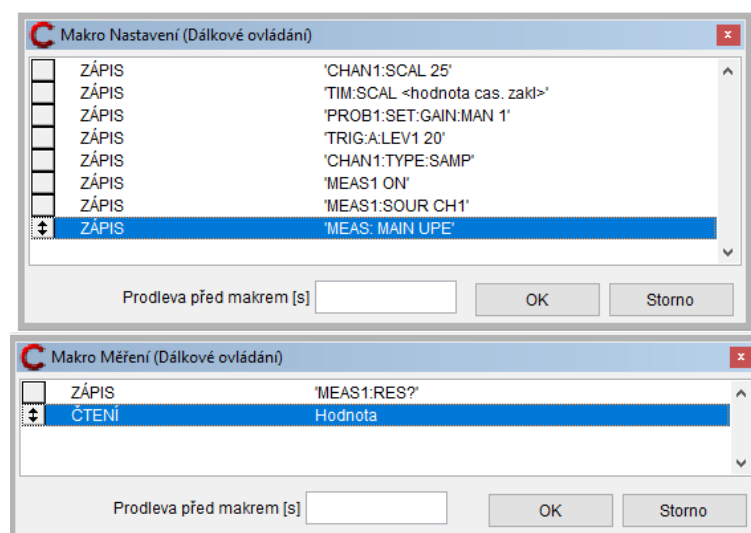
Funkce V_SCOS

Pravidlo V_SCOS je určené pro kontrolu a kalibraci šířky pásma ("linearitu frekvenčního pásma"). I pro tuto funkci bylo nutné zvolit jednotlivé rozsahy pro kalibraci, které lze vidět na obrázku 7.12. Rozsahy byly zvoleny stejné jako pro funkci VDC_2W a konkrétní rozsahy vidíme na obrázku 7.12. Výrobce uvádí, že při 70MHz činí pokles -3 db, z čehož vyplývá chyba z rozsahu rovna 29,21 % [13].



Obr. 7.12: Rozsahy funkce V_SCOS

Po nastavení jednotlivých rozsahů bylo opět nutné nadefinovat jednotlivá makra pro dálkové ovládání, která lze vidět na obrázku 7.13. Příkazy pro nastavení osciloskopu se nachází v tabulce 7.3. Údaje uvedené v tabulce vychází z [12].



Obr. 7.13: Dálkové ovládání V_SCOS

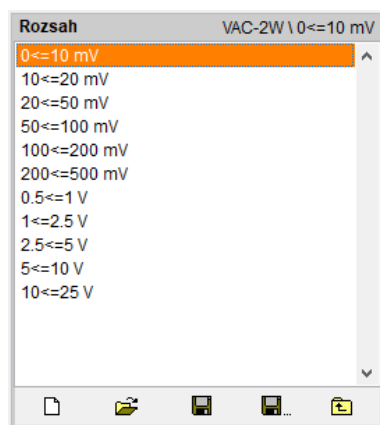
Tab. 7.3: Tabulka pro jednotlivé příkazy maker zápisu a čtení pro funkci V_SCOS

Funkce	Její význam
CHAN1:SCAL <Scale>	Nastavení rozsahu vertikální osy
TIM:SCAL <Scale>	Nastavení rozsahu časové základny
PROB1:SET:GAIN:MAN 1	Nastavení zisku sondy
TRIG:A:LEV1 <value>	Nastavení Levelu (laicky zastavení průběhu)
MEAS1 ON	Povolení měření
MEAS1:SOUR CH1	Výběr kanálu, se kterým se bude pracovat
MEAS:MAIN FREQ	Nastavení typu měřené hodnoty (FREQ - frekvence)
CHAN1:TYPE UPE	Nastavení měřícího režimu do UPE (Měření kladných peaků)
MEAS1:RES?	Příkaz pro změření hodnoty
ČTENÍ	Příkaz pro načtení hodnoty

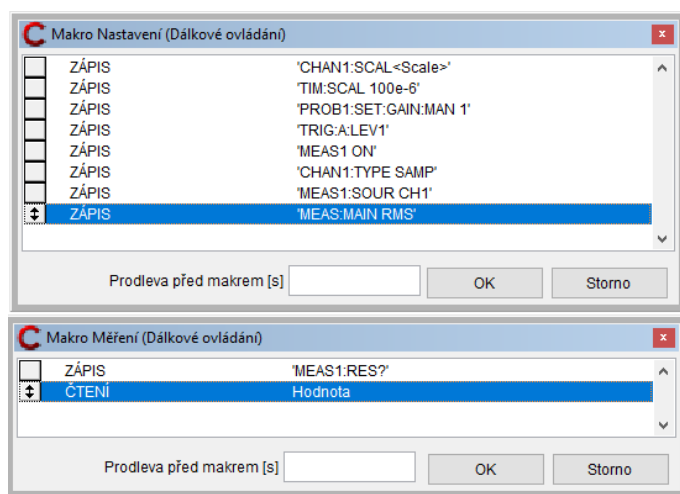
Funkce VAC_2W

Funkce VAC_2W je funkce, která má za úkol kontrolovat a kalibrovat vertikální osu, na rozdíl od funkce VDC_2W se ovšem jedná o střídavý signál s frekvencí 1kHz. Jednotlivé rozsahy se opět shodují s rozsahy funkce VDC_2W s rozdílem, že jednotlivým rozsahům je přidělena frekvence 1kHz, tento krok se ovšem provádí až při vytváření procedury. Jednotlivé rozsahy můžeme vidět na obrázku 7.14.

Po nastavení rozsahu se znovu provádí nastavení jednotlivých maker pro čtení a zápis. Nastavení maker je zobrazeno na obrázku 7.15. Jednotlivé příkazy pro nastavení osciloskopu se nachází v tabulce 7.4 a vychází z [12].



Obr. 7.14: Rozsahy funkce VAC_2W



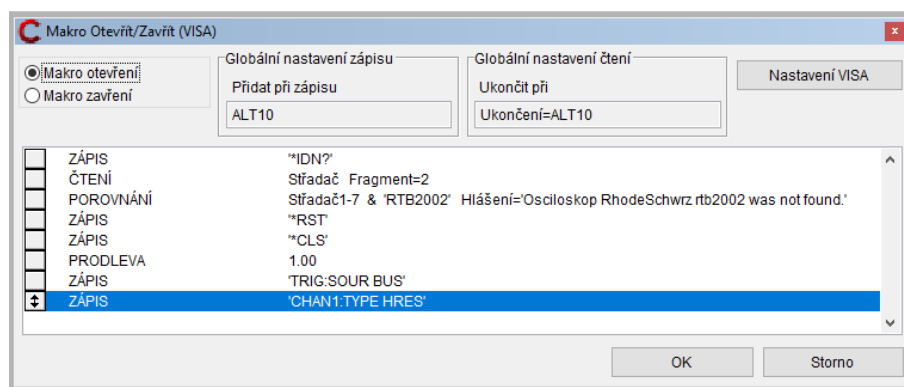
Obr. 7.15: Dálkové ovládání VAC_2W

Tab. 7.4: Tabulka pro jednotlivé příkazy maker zápisu a čtení pro funkci VAC_2W

Funkce	Její význam
CHAN1:SCAL <Scale>	Nastavení rozsahu vertikální osy
TIM:SCAL <Scale>	Nastavení rozsahu časové základny
PROB1:SET:GAIN:MAN 1	Nastavení zisku sondy
TRIG:A:LEV1 <value>	Nastavení Levelu (laicky zastavení průběhu)
MEAS1 ON	Povolení měření
MEAS1:SOUR CH1	Výběr kanálu, se kterým se bude pracovat
MEAS:MAIN FREQ	Nastavení typu měřené hodnoty (FREQ - frekvence)
CHAN1:TYPE RMS	Nastavení měřícího režimu do RMS (Měření efektivní hodnoty)
MEAS1:RES?	Příkaz pro změření hodnoty
ČTENÍ	Příkaz pro načtení hodnoty

7.2.2 Globální nastavení

Globální nastavení slouží pro počáteční nastavení komunikace mezi programem Caliber a kalibrovaným zařízením. Jak bylo již v úvodu zmíněno, program Caliber umožňuje komunikovat s přístroji několika různými způsoby (viz kapitola 1). V případě komunikace s osciloskopem Rhode&Schwarz RTB2002 je využívána komunikace pomocí sběrnice VISA, jejíž nastavení můžeme vidět na obrázku 7.16, pro kalibrátor 9010 je poté využívána komunikace pomocí sběrnice RS232.

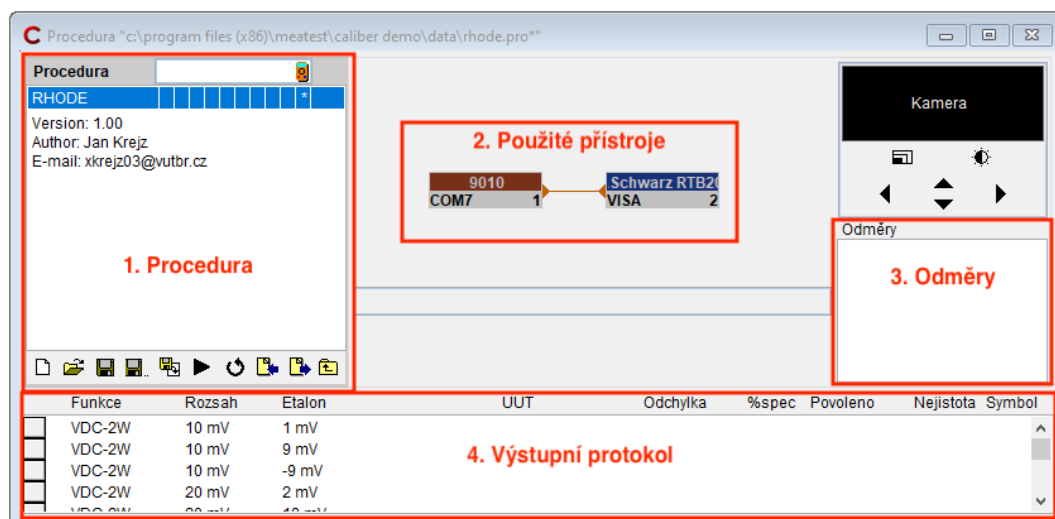


Obr. 7.16: Ukázka globálního nastavení

7.3 Procedura

Procedura je modul, díky kterému je vykonávána celá kalibrace. Skládá se z několika podstatných částí, které lze vidět na obrázku 7.17 a jsou označeny čísly 1 - 4.

Jako první část, kterou je nutné zmínit, je část označená číslem 1. Jedná se o oblast s názvem procedura, nachází se v ní podobně jako v případě karty přístroje základní údaje, jako je název procedury, číslo verze a dále informace o autorovi. Pomocí poklepání na název procedury se lze dostat do jejího "nitra" k jednotlivým bodům. Druhá část se nachází uprostřed. V této části se nachází schéma přístrojů, které vypovídá o tom, které přístroje jsou používány, jakým způsobem a k jaké sběrnici jsou připojeny, detailnější popis nalezneme v kapitole 1.4 o tvorbě procedury. Třetí část se nazývá odměry, v této části lze vidět hodnoty při jednotlivých měřeních, které jsou prováděna. Poslední, čtvrtá část, je výstupní protokol, ve kterém nalezneme veškeré informace o průběhu procedury a jednotlivé naměřené hodnoty s výsledky.



Obr. 7.17: Procedura - základní informace

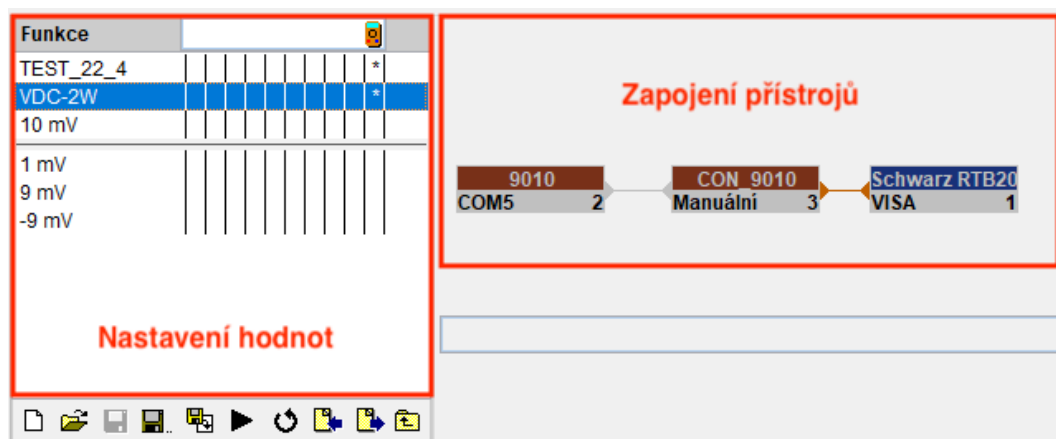
7.3.1 Tvoření procedury

Detailnější popis tvorby procedury se nachází v kapitole 1.4. Při tvorbě procedury je důležité vybrat všechny přístroje a převodníky, které mají být pro danou proceduru využity. V případě procedury pro kalibraci osciloskopu Rhode&Schwarz je vybrána karta právě toho přístroje, jejíž tvorba je popsána v předchozí kapitole. Dalším vybraným přístrojem je kalibrátor 9010, za jehož pomoci je kalibrace prováděna. Poté jsou ještě vybrány tři převodníky (CON_9010, 50-Ohm Termination FREQ1 a 50-Ohm Termination V_SCOS). Při tvorbě procedury se také zadávají jednotlivé hodnoty, za jejichž pomoci má být kalibrován přístroj testován. Při standardní tvorbě procedury lze využít pravidla generování pro zadávání jednotlivých hodnot, ovšem zde při tvoření a ladění jednotlivých bodů procedury byly jednotlivé hodnoty nastavovány manuálně přímo v průběhu tvorby této procedury. Manuální zadávání hodnoty bylo prováděno z více důvodů, jedním z nich bylo již zmíněné zadávání efektivních hodnot, kdy bylo zapotřebí vyzkoušet, zdali zadávané body (napětí) nepřesahují zvolený rozsah v osciloskopu, popřípadě je bylo zapotřebí přepočítat a upravit tyto hodnoty dle potřeby. Dalším příkladem bylo manuální zadávání bodů pro kontrolu linearitu u funkce VDC_2W a to z toho důvodu, že tento krok je prováděn pouze u jednoho (nejpřesnějšího) rozsahu.

Funkce VDC_2W

Jak bylo již zmíněno v úvodu, při tvorbě procedury je kromě vybírání přístrojů nutné nastavit i jednotlivé hodnoty, pomocí kterých má být kalibrace provedena. Popis volby těchto bodů je přiblížen v kapitole č. 7.2.1 (Hlavní a vedlejší body kalibrace). Na obrázku č. 7.18, je vidět jak vypadá prostředí Caliber pro zvolenou

funkci VDC_2W, v levé části se nachází okno (nastavení hodnot), ve kterém vidíme, které hodnoty budou kontrolovány. V tomto okně je možné podle potřeby jak přidávat, tak ubírat jednotlivé body, popřípadě upravovat body stávající. Pravá část okna zobrazuje, jakým způsobem jsou zapojeny jednotlivé přístroje určené pro kalibraci.

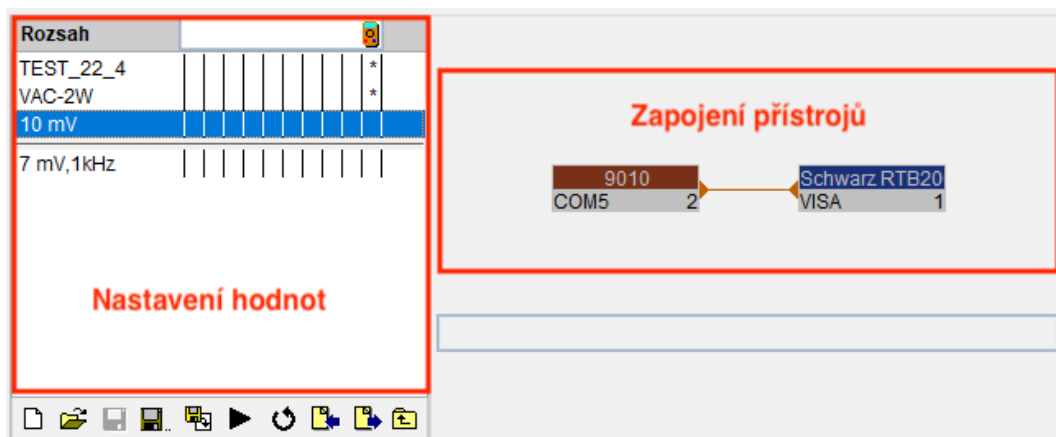


Obr. 7.18: Procedura - Funkce VDC_2W

Jak je vidět na obrázku výše ve schématu zapojení přístrojů, je zde využíván převodník CON_9010, a to konkrétně pro rozsahy od 0mV po 200mV. Tento převodník je zde zařazen z důvodu využití funkce VDC_2W, jedná se o pasivní výstup z přístroje 9010, který obsahuje nižší šum a má přísnější specifikace. Pro rozsahy od 500 mV výše se schéma skládá pouze z kalibrátoru a testovaného osciloskopu.

Funkce VAC_2W

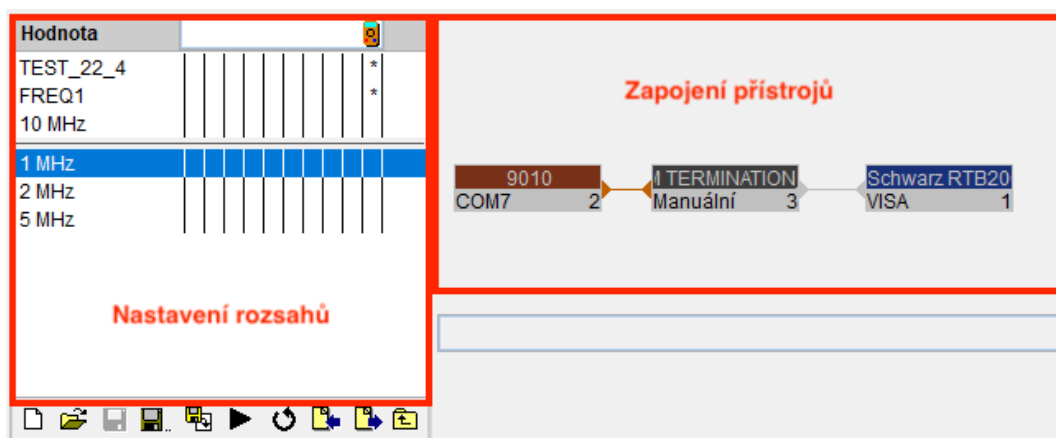
Mezi předchozí funkcí VDC_2W a funkcí VAC_2W je rozdíl, který je patrný už z jejich názvu. V případě první zmíněné se jedná o kalibraci za pomoci stejnosměrných hodnot, v případě druhé zmíněné funkce se jedná o kalibraci za pomoci střídavého signálu. Jednotlivé rozsahy pro funkci VAC_2W jsou opět uvedeny v kapitole 7.2.1. Na obrázku níže je vidět příklad pro nastavování hodnot a frekvence, pro který má být daný bod kontrolován. V pravé části obrázku se poté nachází zapojení přístrojů. Pro tuto funkci je využíváno pouze kalibrátoru 9010 a kalibrovaného osciloskopu bez využití převodníků nebo jiných doplňujících funkcí. Na obrázku 7.19. je prostředí Caliber pro funkci VAC_2W.



Obr. 7.19: Procedura - Funkce VAC_2W

Funkce FREQ1

Jak již bylo zmíněno v kapitole č. 7.2.1, v případě funkce FREQ1 je u osciloskopu pouze jeden frekvenční rozsah, ovšem pro jednotlivá měření bylo nutné nastavovat různé hodnoty časové základny. Z tohoto důvodu byly přidány jednotlivé rozsahy, pro které se v kartě přístroje v nastavení komunikace mezi programem a osciloskopem nastavují právě různé hodnoty časových základen. Rozsahy i jednotlivé body určené pro kalibraci se nachází v již zmíněné kapitole 7.2.1. Na obrázku č. 7.20 lze opět v levé části vidět příklad pro zadávání, odebírání nebo úpravu jednotlivých bodů, které mají být kalibrovány. V levé části se nachází zapojení přístrojů, které je pro tuto funkci využíváno.



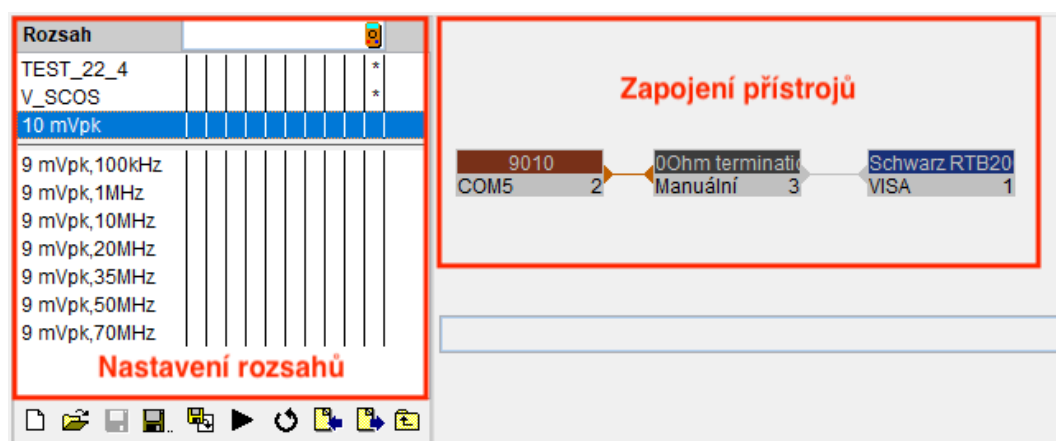
Obr. 7.20: Procedura - Funkce FREQ

Při vykonávání funkce FREQ jsou využity oba přístroje, tedy kalibrátor 9010, osciloskop Rhode&Schwarz RTB2002, dále lze v zapojení přístrojů vidět převodník,

který slouží k upozornění, že je zapotřebí připojit 50ohmové přizpůsobení pro měření vysokých frekvencí.

Funkce V_SCOS

I v případě funkce V_SCOS jsou jednotlivé volby rozsahů uvedeny v kapitole č. 7.2.1. Na obrázku níže (obr. 7.21) je podobně jako v ostatních případech vidět příklad náhledu do funkce v okně procedura, konkrétně pro bod 10mV, v okně nastavení lze vidět jednotlivé body, které mají být provedeny. Zde kromě změny napětí lze upravovat, přidávat nebo odebírat jednotlivé frekvence.



Obr. 7.21: Procedura - základní informace

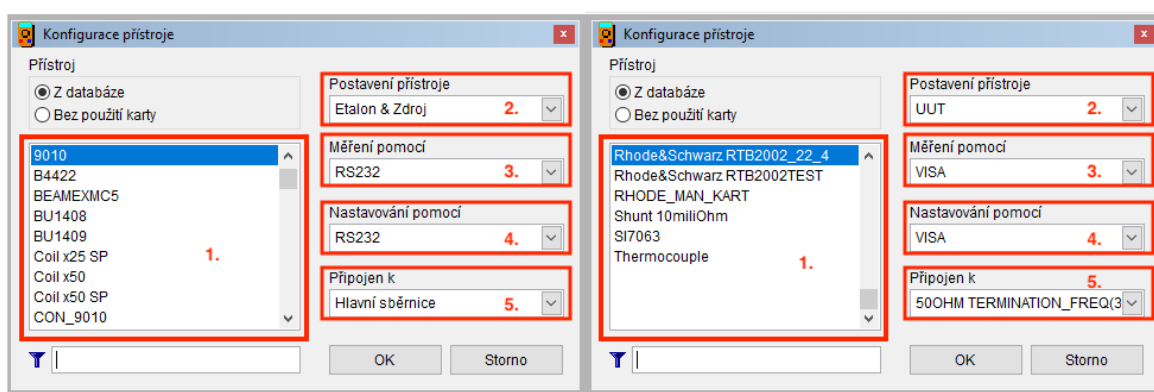
Na obrázku výše (obr. 7.21) je možné vidět, že je zde využíván převodník s názvem 50Ohm_termination V_SCOS, který slouží pro upozornění, že je nutné připojit 50ohmové přizpůsobení kvůli měření vysokých frekvencí.

7.3.2 Nastavení přístrojů

Po vybrání jednotlivých přístrojů a zadání jednotlivých hodnot, pro které má být procedura provedena, je zapotřebí nastavit, respektive nadefinovat, typ ovládání jednotlivých přístrojů. Protože kalibrace byla prováděna jak automatizovaně, tak i pomocí manuálního kalibrování, bylo zapotřebí využívat i dvě odlišné procedury a to z toho důvodu, že se mezi nimi liší způsob ovládání jednotlivých přístrojů.

Procedura pro automatizovanou kalibraci

V případě automatizované kalibrace máme na výběr z několika různých způsobů komunikace mezi přístrojem a programem. V tomto případě byly zvoleny pro oba přístroje (kalibrátor, osciloskop) různé typy komunikace. V případě kalibrátoru 9010 byla využívána komunikace pomocí sériového portu RS232, pro kalibrovaný osciloskop byla využívána komunikace pomocí sběrnice VISA. Jednotlivá okna pro konfiguraci obou přístrojů lze vidět na obrázku č. 7.22. V levé části se nachází nastavení konfigurace pro kalibrátor 9010, v pravé části pro osciloskop Rhode&Schwarz RTB2002. Jednotlivé oblasti jsou popsány pod obrázkem.

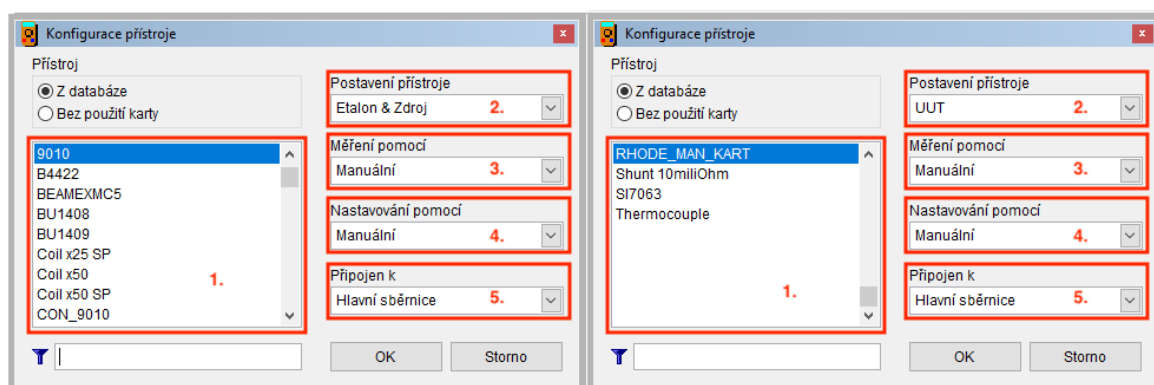


Obr. 7.22: Konfigurace přístrojů pro automatizované měření

1. Oblast 1 - V oblasti, která je označena číslem 1, probíhá výběr přístroje, který má být využíván, nebo je možná jej vyměnit.
2. Oblast 2 - Oblast č. 2, která je pojmenována Postavení přístroje, je zapotřebí vybrat, jaké postavení a jakou úlohu má daný přístroj v celém průběhu kalibrace, pro kalibrátor 9010 bylo vybráno postavení - Etalon a Zdroj, pro kalibrovaný osciloskop poté UUT (kalibrovaný přístroj).
3. Oblast 3 a 4 - Oblasti č. 3 a 4 slouží pro výběr typu komunikace pro měření a nastavování jednotlivých parametrů.
4. Oblast 5 - Oblast č. 5 ukazuje, k čemu je daný přístroj připojen, zpravidla se jedná o připojení k hlavní sběrnici, popřípadě k některému z převodníků, jak je vidět na obrázku vpravo.

Procedura pro manuální kalibraci

Pro manuální kalibraci musela být vytvořena jiná procedura, respektive se jedná o totožnou proceduru, jediným rozdílem oproti automatizované kalibraci je právě nastavení konfigurace jednotlivých přístrojů. Oproti konfiguraci, která je využívána pro automatizovanou kalibraci, jsou zde oblasti 3 a 4 nastaveny místo jednotlivých typu konfigurací na manuální ovládání, jak je vidět na obrázku č. 7.23.



Obr. 7.23: Konfigurace přístrojů pro manuální měření

8 Kalibrace

Po přípravě karty měřicího přístroje a vytvoření procedury se přistoupilo k vykonání samotné kalibrace, a to jak manuální kalibrace, tak kalibrace automatizované. V obou případech bylo dohromady testováno 156 bodů, přičemž pro každý bod bylo zapotřebí provést 10 odměrů, které byly následně zpracovány a vyhodnoceny pomocí programu Caliber.

V případě automatizované kalibrace se postupovalo tak, že po zapnutí je uživatel vyzván k připojení jednotlivých svorek, pro funkce VDC_2W a VAC_2W jsou připojeny svorky HI a LO na výstupu z kalibrátoru a pomocí přechodky na sondu jsou přivedeny na svorku prvního kanálu osciloskopu (CH1). Poté pouze stačí potvrdit správné zapojení tlačítkem Enter, čímž je spuštěna kalibrace. V tento moment jsou kalibrovány jednotlivé body obou výše zmíněných funkcí. Další manuální obsluhy je zapotřebí až v momentě, kdy jsou zkontrolovány všechny body funkcí VDC_2W a VAC_2W a je zapotřebí přepojit jednotlivé svorky pro kalibraci funkcí FREQ1 a V_SCOS. Pro tyto dvě funkce jsou zapojeny svorky HF na kalibrátoru 9010 a opět CH1 na kalibrovaném osciloskopu. Dále je uživatel vyzván pomocí převodníku vytvořeného při tvorbě karet, aby obsluha přidala 50ohmové přizpůsobení. Po přepojení stačí tlačítkem Enter opět potvrdit změnu zapojení a poté již vyčkat do chvíle, než je kalibrace dokončena. Jednotlivé časy kalibrování jsou uvedeny v tabulce č. 8.1. Výsledný protokol se nachází jak v elektronické příloze, tak v příloze na konci práce, kde je rozdělen na jednotlivé části.

Tab. 8.1: Tabulka shrnutí jednotlivých časů automatizované kalibrace

Funkce	t [s]
VDC_2W	742
VAC_2W	157
FREQ1	173
V_SCOS	1039
Celkem	2111

V následující tabulce, kde jsou shrnuty jednotlivé časy, můžeme vidět, že automatizovaná kalibrace bez potřebných zásahů obsluhy trvá 35 minut a 11 sekund. Čas potřebný na obsluhu obou zařízení (přepojení svorek) zabere obsluze 32 sekund. Po přičtení tohoto času k celkovému času kalibrace dostáváme výsledný čas 2111 sekund tedy 35 minut a 43 sekund.

V případě, že je kalibrace prováděna manuálně, jedná se o podstatně složitější proces, který je zároveň výrazně časově náročnější. Podobně jako v případě kalibrace automatizované, je zapotřebí po nastavení všech potřebných parametrů, komunikace mezi přístroji a zapnutí kalibrace provést fyzické propojení obou přístrojů. Poté je pro každou funkci a každý kalibrovaný bod postup stejný. Jako první je uživatel vyzván programem, aby na kalibrovaném osciloskopu správně nastavil potřebné rozsahy pro daný bod. Po nastavení a potvrzení této informace je opět vybídnut programem, tentokrát k nastavení hodnoty v kalibrátoru, která má být použita pro kontrolu osciloskopu. Po nastavení hodnoty a potvrzení, že byl kalibrátor správně obsloužen, je uživatel vyzván k zapnutí výstupu kalibrátoru, čímž je daný signál přiveden do osciloskopu. Následně je zapotřebí do programu Caliber zapsat hodnoty jednotlivých signálů, které jsou na výstupu z kalibrátoru. Poté je nutné provést deset měření, na jejichž základě program vyhodnotí jednotlivá měření a také, zda hodnoty z osciloskopu odpovídají údajům dodávaným výrobcem. Jednotlivé časy, které byly zapotřebí pro zkalibrování osciloskopu, se nacházejí v tabulce 8.2.

Tab. 8.2: Tabulka shrnutí jednotlivých časů manuální kalibrace

Funkce	t [s]
VDC_2W	6171
VAC_2W	1727
FREQ1	1560
V_SCOS	8388
Celkem	17 864

V tabulce se nacházejí jednotlivé časy pro jednotlivé kalibrované body a výsledný čas manuální kalibrace. Ten je roven 17 864 sekundám, což odpovídá téměř 5 hodinám (4 hodiny 57 minut). Z tohoto vyplývá, že manuální kalibrace je opravdu výrazně časově náročnější oproti kalibraci automatizované. Celkové porovnání obou kalibrací je uvedeno v tabulce 8.3.

Tab. 8.3: Tabulka Porovnání manuální a automatizované kalibrace

Typ kalibrace	VDC_2W	VAC_2W	FREQ1	V_SCOS	Celkem
Automatická - t [s]	742	157	173	1039	2111
Manuální - t [s]	6171	1727	1560	8388	17 864

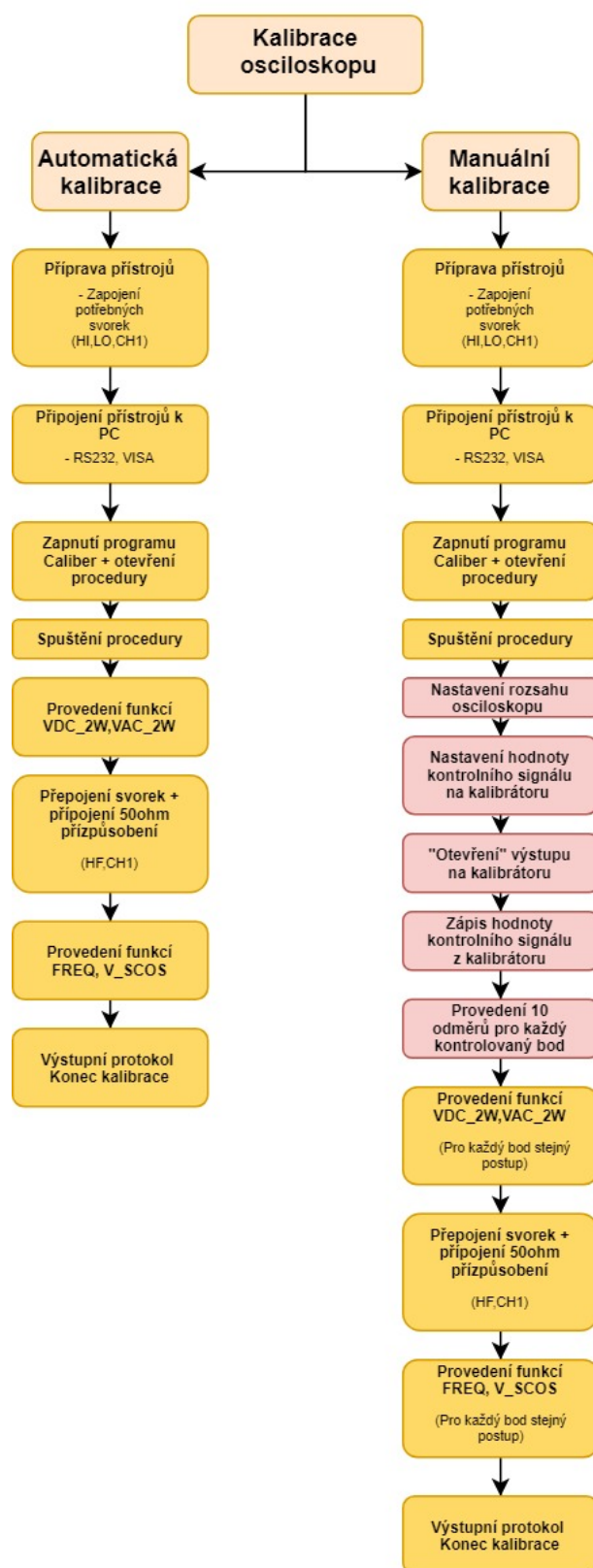
Kromě časové náročnosti se zde ukazuje velký rozdíl v potřebě znalosti obou přístrojů a jejich ovládání při provádění obou způsobů kalibrace. V případě kalib-

race automatizované postačuje obsluhu znalost správného propojení obou přístrojů mezi sebou, dále propojení přístrojů s počítačem, ve kterém se nachází program Caliber. Poté stačí pouze program spustit, otevřít proceduru pro daný typ přístroje a vybranou proceduru spustit, jak již bylo zmíněno výše. V průběhu automatizované kalibrace se obsluha nemusí již ničím dalším zabývat, pouze změnou zapojení jednotlivých svorek a přidáním 50ohmového přizpůsobení po proběhnutí funkcí VDC_2W a VAC_2W.

V případě kalibrace manuální je celý proces o poznání složitější, jak je již doloženo výše. Kromě znalosti zapojení obou přístrojů mezi sebou a počítačem je zapotřebí, aby obsluha zvládala obsluhovat oba přístroje manuálně, ve smyslu nastavování jednotlivých rozsahů a typů měřených hodnot na osciloskopu (např. hodnoty MEAN, RMS, FREQ) a dále například ovládala časové osy osciloskopu. Při ovládání kalibrátoru 9010 je zapotřebí znalost nastavování jednotlivých veličin, které mají být při kalibraci použity (AC a DC napětí, frekvence), a dále nastavování jednotlivých hodnot. Jednotlivé kroky ovládání programu Caliber jsou popsány výše v textu.

Dalším rozdílem, který se podepisuje na výsledné časové náročnosti, je odečítání a zapisování hodnot. V případě automatizované kalibrace je vše prováděno autonomně a v případě nestabilního čtení je celý proces automaticky zopakován, takže trvá pár sekund navíc. U manuální kalibrace je zapotřebí všechny hodnoty z osciloskopu ručně odečíst a poté zapsat do programu Caliber. V případě, že obsluha zadá špatně naměřenou hodnotu, nebo si splete řád naměřené hodnoty, popřípadě se dopustí překlepu na klávesnici, je zapotřebí všech deset měření provést znovu. Porovnání jednotlivých úkonů a rozdílů mezi oběma způsoby kalibrace lze najít na další stránce na obrázku č. 8.1.

Dalším rozdílem je eliminace chyby obsluhy, která může například vlivem nepozornosti špatně obsloužit některý z přístrojů, čímž by mohla vzniknout určitá chyba. V případě automatizované kalibrace jsou tyto hrozby eliminovány za předpokladu, že nedojde k chybě v průběhu vytváření karty přístroje nebo procedury samotné.



Obr. 8.1: Porovnání průběhu automatické a manuální kalibrace

9 Úpravy uživatelského rozhraní

V této kapitole budou popsány možné úpravy a návrhy na zlepšení uživatelského rozhraní, které by zjednodušily a zefektivnily obsluhu a to jak v případě kalibrátoru 9010, tak programu a prostředí Caliber.

9.1 Kalibrátor 9010

Možnou úpravou uživatelského rozhraní a práce s kalibrátorem 9010 by mohlo být využití dotykového displeje. Jedná se o součást přístroje, která by uživateli zjednodušila práci s tímto přístrojem a to především v situacích, kdy je například nutné měnit jednotlivé hodnoty frekvence při konstantním napětí, tvar signálu, jeho střídu a další různé parametry. Při využívání tlačítek na kalibrátoru je poněkud nepřehledné hledat správné tlačítko pro přepnutí dané funkce do požadovaného režimu, s kterým bychom rádi pracovali. Vzhledem k tomu, že každá funkce (napětí, proud, frekvence) nabízí jiné možnosti nastavení jednotlivých parametrů, není obsazení jednotlivých tlačítek pokaždé stejné. Ukázkou současného displeje lze vidět na obrázku 9.1. Konkrétně je na obrázku vidět stav displeje při zvolení funkce V_SCOS.



Obr. 9.1: Ukázka zobrazení displeje kalibrátoru 9010 (funkce V_SCOS)[14]

1. Specifikace
2. Minimální hodnota napětí
3. Maximální hodnota napětí
4. Nastavení požadovaného napětí na výstupu
5. Tvar
6. Frekvence
7. Střída

8. Mód
9. Typ komunikace
10. Zapojení svorek

Dalším benefitem z pohledu využití dotykového displeje by mohlo být rychlejší a pohodlnější přepínání mezi jednotlivými funkcemi, jako například přechod v režimu napětí mezi střídavým a stejnosměrným napětím.

Další možnou úpravou kalibrátoru, respektive jeho firmware, by mohlo být přidání skoků. V současné době jsou u kalibrátoru využívány skoky, a to konkrétně ($\times 10$ a $/10$), tudíž je možné si hodnotu desetkrát zvětšit a nebo zmenšit. V případě manuálního kalibrování osciloskopů to ovšem může být nepohodlné a to proto, že to není typické pro osciloskopické rozsahy. Vzhledem k možnosti kalibrování osciloskopů by mohlo být výhodné a vhodné rozšířit firmware o možnosti skoků, a to konkrétně ($1:2:5:10$), které jsou pro osciloskopy typické a obsluze by přinesly pohodlnější možnost změny hodnot jednotlivých parametrů kontrolních signálů na výstupu z kalibrátoru, aniž by obsluha musela volit manuálně potřebné hodnoty. Stačilo by pouze mačkat jednotlivé násobky hodnot.

Během testování byla odhalena softwarová chyba, která způsobovala nestabilitu a kmitání při využívání funkce `FREQ`, a to konkrétně při nastavené hodnotě 25MHz. Tato chyba byla velmi rychle odstraněna programátorem firmy Meatest. Jednalo se úpravu interního FW (firmware), který vyřešil hazardy ve vnitřním FPGA (programovatelná hradlová pole).

9.2 Program Caliber

I v případě programu Caliber byly odhaleny drobné nedostatky, které obsluze mohou působit nepříjemnosti. Jak bylo zmíněno v kapitole číslo 8, jednou z nevýhod programu je, že při zapisování jednotlivých odměrů při manuální kalibraci (deset odměrů pro každý kalibrovaný bod) v případě, že se obsluha dopustí chyby v zápise naměřené hodnoty do programu, nemá možnost tuto chybu opravit. Je zapotřebí opakovat znovu celý proces deseti odměrů pro daný bod, čímž se protahuje celková doba kalibrace. Další nepříjemnost se vyskytuje při tvorbě karty přístroje. Tvorba karty přístroje je samo o sobě složitý proces, je zapotřebí nastavit velké množství parametrů, ať už se jedná o jednotlivé rozsahy, tak o jednotlivá makra, která slouží k ovládání osciloskopu. Právě při nastavování jednotlivých rozsahů by možným zlepšením mohla být možnost přidání rozsahu v průběhu tvorby karty, protože pokud obsluha vytvoří několik rozsahů a dodatečně by chtěla přidat další rozsah o nižší hodnotě, je zapotřebí smazat všechny rozsahy, které jsou větší než rozsah přidávaný,

a to z důvodu, aby se obsluhou přidávaný rozsah zařadil na správné místo. Možným řešením by bylo posunutí přidaného rozsahu na potřebné místo bez nutnosti odstranění předchozích rozsahů. V případě vytváření maker pro ovládání osciloskopu je možné globálního nastavení jednotlivých příkazů. Ty se následně propisují funkcí do jednotlivých rozsahů, kde je lze dále upravovat, například měnit potřebné parametry, jako jsou jednotlivé rozsahy, ať už horizontální nebo vertikální osy. Problém ovšem nastává v situaci, kdy po zadání a nastavení jednotlivých funkcí a parametrů je zapotřebí přidání další funkce. V případě, že obsluha využije globálního nastavení, jsou smazána veškerá konkrétní nastavení parametrů (např. rozsahy horizontální a vertikální osy) a je nutné jednotlivé parametry pro každý rozsah opět přidat. Možným řešením by mohlo být umožnění individuálního přidání parametru za pomoci globálního nastavení, ovšem tak, aby se nezměnily jednotlivé parametry, které byly nastaveny dříve.

I přes drobné nedostatky se jedná o produkty, které při provádění kalibrací znamenají pro obsluhu obrovský komfort a úsporu času, především díky možnosti vytvoření plně automatizované procedury. Obsluha se nemusí téměř vůbec starat o její průběh a obsluhu jednotlivých přístrojů. Jediným jejím úkolem je správné propojení jednotlivých přístrojů využívaných pro kalibraci.

Závěr

Bakalářská práce se zabývá automatizovanou kalibrací zvoleného osciloskopu (Rhode&Schwarz RTB2002), za pomoci kalibrátoru 9010 od firmy Meatest. V práci se dále nachází porovnání automatizované a manuální kalibrace.

Cílem teoretické části bylo seznámit se a popsat program Caliber a následně provést rešerši v oblasti kalibrování osciloskopů. Na základě získaných poznatků bylo dalším úkolem sestavit kalibrační proceduru, za jejíž pomoci měl být zkontrolován vybraný osciloskop, a to jak pomocí automatizované kalibrace, tak v porovnání s kalibrací manuální. Při volbě jednotlivých bodů a při literární rešerši byla použita doporučení pro kalibrace osciloskopů vycházející z EURAMET.

V teoretické části se nachází popis programu Caliber, který je určen pro automatizované kalibrace různých měřicích přístrojů. Je zde popsáno, jak se s programem pracuje, jak se vytvářejí jednotlivé části, jako je například karta přístroje nebo měřicí procedura. Dále je zde například vysvětleno, jak vypadá kalibrační protokol. V další části teoretické přípravy jsem se zaměřil na teorii kalibrování osciloskopů.

Pro praktickou část bylo následně nutné si zvolit daný osciloskop, pro který měla být sestavena kalibrační procedura a provedena kalibrace. Pro svoji bakalářskou práci jsem si vybral osciloskop od výrobce Rhode&Schwarz, konkrétně model RTB2002. Jedná se o přístroj, který nedisponuje vysokou přesností, ovšem nabízel pravděpodobně jedny z nejlepších podmínek pro komunikaci a ovládání.

Po výběru osciloskopu následovala příprava na praktickou část. V této části bylo zapotřebí zvolit jednotlivé funkce a rozsahy s jednotlivými hodnotami, za jejichž pomoci byla následně vytvořena karta tohoto přístroje. Tvorba karty přístroje pro osciloskop je velmi náročná a to především kvůli kontrole velkého množství parametrů a dále nepřehlednému množství příkazů, které slouží pro ovládání osciloskopu při automatizované kalibraci. Po vytvoření karty přístroje bylo přistoupeno na tvorbu procedury. Jelikož mělo dojít k porovnání automatizované kalibrace a manuální kalibrace zvoleného osciloskopu, bylo zapotřebí vytvořit procedury dvě, a to pro každou z jednotlivých částí (automatizovaná, manuální).

Po vytvoření jednotlivých procedur následovala praktická měření. V případě automatizované kalibrace bylo dosaženo času 35 minut 11 sekund bez nutné obsluhy (přepojení svorek) obou přístrojů, s obsluhou činilo kompletní provedení automatizované kalibrace 35 minut a 43 sekund. Následně po provedení automatizovaného měření byla prováděna manuální kalibrace. Bylo zjištěno, že celková kalibrace prováděná pouze za pomoci programu Caliber bez automatizace by obsluze zabrala téměř 5 hodin (4 hodiny 57 minut a 26 sekund). Z jednotlivých časů je patrné, že automatizovaná kalibrace je téměř 9x rychlejší než kalibrace manuální, což znamená nejen neuvěřitelné zrychlení, ale také určitý komfort pro obsluhu, které stačí v případě

automatizované kalibrace pouze správně zapojit jednotlivé přístroje a poté pouze spustit proceduru, o zbytek se postará samotný program. Výsledný protokol se nachází v elektronické příloze anebo na konci tohoto dokumentu v části A, rozdělený podle jednotlivých funkcí. V protokolu lze vidět i naměřené výsledky, které vyšly mimo specifikace, a to především proto, že osciloskop nebyl dva roky kalibrován a je využíván jen pro informativní měření.

V poslední kapitole se poté snažím nastítnit možné úpravy a zlepšení kalibrátoru 9010, který byl pro kalibraci využíván, a možné úpravy programu Caliber.

Provádění automatických kalibrací vede obecně ke zlevnění tohoto procesu. Kalibrace nejsou tolik časově náročné a zároveň jsme za mnohem kratší čas schopni zkontrolovat několikanásobně více bodů než při kalibraci manuální. Při využívání manuální kalibrace by muselo dojít ke zmenšení počtu kalibrovaných bodů a tím i omezení kontrolovaných parametrů.

Literatura

- [1] CALIBER, Kalibrace měřidel Uživatelská příručka *uživatelská příručka* [online]. [cit. 31. 12. 2020]. Dostupné z URL: <<https://www.meatest.com/cs/produkty-caliber-automated-calibration-software-detail-3913?tabs=downloads>>.
- [2] *Počítačem řízené kalibrace* [online]. [cit. 31. 12. 2020]. Dostupné z URL: <<https://www.meatest.com/cs/produkty-caliber-automated-calibration-software-detail-3913?tabs=downloads>>.
- [3] *Caliber Automatizované kalibrace* [online]. [cit. 31. 12. 2020]. Dostupné z URL: <<https://www.meatest.com/cs/produkty-caliber-automated-calibration-software-detail-3913?tabs=downloads>>.
- [4] EURAMET *Calibration of Oscilloscopes* [online].06/2011. EURAMET e.V., 2011 [cit. 31. 12. 2020]. ISBN 978-3-942992-19-0. Dostupné z URL: <https://www.euramet.org/Media/docs/Publications/calguides/EURAMET_cg-7_v_1.0_Calibration_of_Oscilloscopes.pdf>.
- [5] European cooperation for Accreditation of Laboratories *Calibration of Oscilloscopes* [online].1997. [cit. 31. 12. 2020]. Dostupné z URL: <<http://www.iranqc.com/wp-content/uploads/2019/06/EA-10-07-CDUSEHT.pdf>>.
- [6] Fluke Calibration *Oscilloscope calibration* [online].02/2001 [cit. 31. 12. 2020]. Dostupné z URL: <<https://us.flukecal.com/literature/articles-and-education/electrical-calibration/application-notes/oscilloscope-calibration->>.
- [7] *Techniques for Oscilloscope Calibration - Presentation Slides* [online]. [cit. 31. 12. 2020]. Dostupné z URL: <<https://us.flukecal.com/literature/articles-and-education/techniques-oscilloscope-calibration-presentation-slides>>.
- [8] Základní pojmy: Kalibrace *Český metrologický ústav* [online].Brno [cit. 31. 12. 2020]. Dostupné z URL: <<https://www.cmi.cz/node/537>>.

- [9] 9010 Multifunkční kalibrátor: Popis. *Meatest* [online] [cit. 1. 1. 2021]. Dostupné z URL: <<https://www.meatest.com/cs/produkty-9010-multifunkcni-kalibrator-detail-3990?tabs=description>>.
- [10] *Analogové a digitální osciloskopy* [online] [cit. 3. 1. 2021]. Dostupné z URL: <<http://www.amt.cz/index.php?id=clanky>>.
- [11] *Rohde and Schwarz RTB2002* [online]. [cit. 10. 5. 2021]. Dostupné z URL: <<https://www.tequipment.net/Rohde-&-Schwarz/RTB2002/Digital-Oscilloscopes/>>.
- [12] *RS@RTB2000 Digital Oscilloscope User Manual* [online]. [cit. 16. 5. 2021]. Dostupné z URL: <https://www.batronix.com/files/Rohde-&-Schwarz/Oscilloscope/RTB2000/RTB_UserManual_en.pdf/>.
- [13] *RS@RTB2000 Digital Oscilloscope Specifications* [online]. [cit. 16. 5. 2021]. Dostupné z URL: <https://www.tme.eu/Document/e1dd65364742ab4d6a528042df70e7a0/RTB2K_DS.pdf/>.
- [14] *9010 Multifunction Calibrator user manual* [online]. [cit. 16. 5. 2021]. Dostupné z URL: <<https://www.meatest.com/en/documents/download/dfi%7C6e72baf7-9fef-4e1b-ac01-0ef8d583615e/>>.
- [15] *RS@RTB2000 Oscilloscope Power of ten* [online]. [cit. 16. 5. 2021]. Dostupné z URL: <https://res.cloudinary.com/iwh/image/upload/q_auto,g_center/assets/1/26/Rohde_and_Schwarz_RT2000_-_Brochure_Version_6.pdf>.

Seznam příloh

A	Kalibrační protokol	72
A.1	Ukázka kalibračního protokolu funkce VDC_2W	72
A.2	Ukázka kalibračního protokolu funkce VAC_2W a FREQ	73
A.3	Ukázka kalibračního protokolu funkce V_SCOS	74
B	Obsah CD	76

A Kalibrační protokol

A.1 Ukázka kalibračního protokolu funkce VDC_2W

Funkce	Rozsah	Etalon	UUT	Odchylka	%spe	Povoleno	Nejistota	
VDC-2W	5 mV	0.5000 mV	0.1844 mV	-315.6 uV	-316	100.0 uV	4.1 uV	*
VDC-2W	5 mV	4.5000 mV	3.9620 mV	-538.0 uV	-538	100.0 uV	4.3 uV	*
VDC-2W	5 mV	-4.5000 mV	-4.5566 mV	-56.6 uV	-57	100.0 uV	4.1 uV	ok
VDC-2W	10 mV	1.0000 mV	0.6484 mV	-351.6 uV	-176	200.0 uV	4.3 uV	*
VDC-2W	10 mV	9.0000 mV	7.7294 mV	-1270.6 uV	-635	200.0 uV	9.4 uV	*
VDC-2W	10 mV	-9.0000 mV	-8.1551 mV	-844.9 uV	422	200.0 uV	7.8 uV	*
VDC-2W	20 mV	2.0000 mV	1.6730 mV	-327.0 uV	-82	400.0 uV	4.7 uV	ok
VDC-2W	20 mV	18.0000 mV	16.9798 mV	-1020.2 uV	-255	400.0 uV	8.4 uV	*
VDC-2W	20 mV	-18.0000 mV	-17.4502 mV	-549.8 uV	137	400.0 uV	8.8 uV	*
VDC-2W	50 mV	5.0000 mV	4.763 mV	-237 uV	-24	1000 uV	10 uV	ok
VDC-2W	50 mV	45.0000 mV	44.506 mV	-494 uV	-49	1000 uV	17 uV	ok
VDC-2W	50 mV	-45.0000 mV	-44.957 mV	43 uV	4	1000 uV	11 uV	ok
VDC-2W	100 mV	10.0000 mV	9.682 mV	-318 uV	-16	2000 uV	13 uV	ok
VDC-2W	100 mV	90.0000 mV	89.808 mV	-192 uV	-10	2000 uV	14 uV	ok
VDC-2W	100 mV	-90.0000 mV	-90.474 mV	-474 uV	-24	2000 uV	20 uV	ok
VDC-2W	200 mV	20.0000 mV	19.529 mV	-471 uV	-12	4000 uV	26 uV	ok
VDC-2W	200 mV	180.0000 mV	179.936 mV	-64 uV	-2	4000 uV	30 uV	ok
VDC-2W	200 mV	-180.0000 mV	-181.123 mV	-1123 uV	-28	4000 uV	37 uV	ok
VDC-2W	500 mV	50.0000 mV	49.774 mV	-226 uV	-2	10000 uV	70 uV	ok
VDC-2W	500 mV	450.0000 mV	450.531 mV	531 uV	5	10000 uV	81 uV	ok
VDC-2W	500 mV	-450.0000 mV	-450.495 mV	-495 uV	-5	10000 uV	68 uV	ok
VDC-2W	500 mV	-450.0000 mV	-452.082 mV	-2082 uV	-21	10000 uV	82 uV	ok
VDC-2W	1 V	0.100000 V	0.083795 V	-16.205 mV	-81	20.000 mV	0.089 mV	ok
VDC-2W	1 V	0.900000 V	0.88390 V	-16.10 mV	-80	20.00 mV	0.11 mV	ok
VDC-2W	1 V	-0.900000 V	-0.91677 V	-16.77 mV	-84	20.00 mV	0.19 mV	ok
VDC-2W	2.5 V	0.250000 V	0.23497 V	-15.03 mV	-30	50.00 mV	0.51 mV	ok
VDC-2W	2.5 V	2.300000 V	2.28656 V	-13.44 mV	-27	50.00 mV	0.42 mV	ok
VDC-2W	2.5 V	-2.300000 V	-2.31495 V	-14.95 mV	-30	50.00 mV	0.44 mV	ok
VDC-2W	5 V	0.500000 V	0.48859 V	-11.42 mV	-11	100.00 mV	0.65 mV	ok
VDC-2W	5 V	4.500000 V	4.49457 V	-5.43 mV	-5	100.00 mV	0.50 mV	ok
VDC-2W	5 V	-4.500000 V	-4.52360 V	-23.60 mV	-24	100.00 mV	0.56 mV	ok
VDC-2W	10 V	9.000000 V	9.0015 V	1.5 mV	1	200.0 mV	1.1 mV	ok
VDC-2W	10 V	8.000000 V	8.0085 V	8.5 mV	4	200.0 mV	1.8 mV	ok
VDC-2W	10 V	7.000000 V	7.0133 V	13.3 mV	7	200.0 mV	1.2 mV	ok
VDC-2W	10 V	6.000000 V	6.0131 V	13.1 mV	7	200.0 mV	1.4 mV	ok
VDC-2W	10 V	5.000000 V	5.0083 V	8.3 mV	4	200.0 mV	1.1 mV	ok
VDC-2W	10 V	4.000000 V	4.0041 V	4.1 mV	2	200.0 mV	1.1 mV	ok
VDC-2W	10 V	3.000000 V	2.99803 V	-1.97 mV	-1	200.00 mV	0.52 mV	ok
VDC-2W	10 V	2.000000 V	1.9935 V	-6.5 mV	-3	200.0 mV	1.1 mV	ok
VDC-2W	10 V	1.000000 V	0.98880 V	-11.20 mV	-6	200.00 mV	0.95 mV	ok
VDC-2W	10 V	-1.000000 V	-1.01312 V	-13.12 mV	-7	200.00 mV	0.95 mV	ok
VDC-2W	10 V	-2.000000 V	-2.01671 V	-16.71 mV	-8	200.00 mV	0.90 mV	ok
VDC-2W	10 V	-3.000000 V	-3.0195 V	-19.5 mV	-10	200.0 mV	1.1 mV	ok
VDC-2W	10 V	-4.000000 V	-4.02646 V	-26.46 mV	-13	200.00 mV	0.82 mV	ok
VDC-2W	10 V	-5.000000 V	-5.0369 V	-36.9 mV	-18	200.0 mV	1.0 mV	ok
VDC-2W	10 V	-6.000000 V	-6.04491 V	-44.91 mV	-22	200.00 mV	0.87 mV	ok
VDC-2W	10 V	-7.000000 V	-7.03851 V	-38.51 mV	-19	200.00 mV	0.68 mV	ok
VDC-2W	10 V	-8.000000 V	-8.0398 V	-39.8 mV	-20	200.0 mV	1.4 mV	ok
VDC-2W	10 V	-9.000000 V	-9.03510 V	-35.10 mV	-18	200.00 mV	0.98 mV	ok
VDC-2W	25 V	2.500000 V	2.4738 V	-26.2 mV	-5	500.0 mV	2.2 mV	ok
VDC-2W	25 V	23.000000 V	22.9882 V	-11.8 mV	-2	500.0 mV	2.7 mV	ok
VDC-2W	25 V	-23.000000 V	-23.1047 V	-104.7 mV	-21	500.0 mV	2.7 mV	ok

Popis symbolů:
 ok ... vyhovuje
 ? ... chyba naměřená je v intervalu mezní chyba ± nejistota měření
 * ... nevyhovuje

Obr. A.1: Ukázka kalibračního protokolu funkce VDC_2W

A.2 Ukázka kalibračního protokolu funkce VAC_2W a FREQ

Funkce	Rozsah	Etalon	UUT	Odchylka	%spe	Povoleno	Nejistota	
VAC-2W	10 mV	7.000 mV; 1kHz	6.169 mV	-831 uV	-416	200 uV	51 uV	*
VAC-2W	20 mV	14.000 mV; 1kHz	13.396 mV	-604 uV	-151	400 uV	67 uV	*
VAC-2W	50 mV	35.00 mV; 1kHz	34.71 mV	-290 uV	-29	1000 uV	133 uV	ok
VAC-2W	100 mV	70.00 mV; 1kHz	70.04 mV	44 uV	2	2000 uV	174 uV	ok
VAC-2W	200 mV	140.00 mV; 1kHz	140.41 mV	405 uV	10	4000 uV	254 uV	ok
VAC-2W	500 mV	350.00 mV; 1kHz	351.37 mV	1374 uV	14	10000 uV	241 uV	ok
VAC-2W	1 V	0.70000 V; 1kHz	0.69718 V	-2.82 mV	-14	20.00 mV	0.34 mV	ok
VAC-2W	2.5 V	1.70000 V; 1kHz	1.69396 V	-6.04 mV	-12	50.00 mV	0.63 mV	ok
VAC-2W	5 V	3.5000 V; 1kHz	3.4926 V	-7.4 mV	-7	100.0 mV	1.8 mV	ok
VAC-2W	10 V	7.0000 V; 1kHz	6.9804 V	-19.6 mV	-10	200.0 mV	2.8 mV	ok
VAC-2W	25 V	16.0000 V; 1kHz	15.9698 V	-30.2 mV	-6	500.0 mV	5.5 mV	ok
FREQ1	10 kHz	5.000000 kHz	4.999956 kHz	-0.044 Hz	-251	0.017 Hz	0.014 Hz	*
FREQ1	100 kHz	50.00000 kHz	49.99964 kHz	-0.36 Hz	-206	0.17 Hz	0.14 Hz	*
FREQ1	1 MHz	0.5000000 MHz	0.4999989 MHz	-0.0011 kHz	-64	0.0017 kHz	0.0014 kHz	?
FREQ1	10 MHz	1.0000000 MHz	0.9999962 MHz	-0.0038 kHz	-108	0.0035 kHz	0.0041 kHz	?
FREQ1	10 MHz	2.0000000 MHz	1.9999866 MHz	-0.0134 kHz	-191	0.0070 kHz	0.0075 kHz	?
FREQ1	10 MHz	5.0000000 MHz	4.999989 MHz	-0.011 kHz	-64	0.017 kHz	0.020 kHz	?
FREQ1	20 MHz	10.000000 MHz	9.999927 MHz	-0.073 kHz	-210	0.035 kHz	0.053 kHz	?
FREQ1	35 MHz	20.000000 MHz	19.99982 MHz	-0.18 kHz	-257	0.07 kHz	0.12 kHz	?
FREQ1	50 MHz	35.000000 MHz	34.99976 MHz	-0.24 kHz	-194	0.12 kHz	0.15 kHz	~?
FREQ1	70 MHz	50.000000 MHz	49.99947 MHz	-0.53 kHz	-305	0.17 kHz	0.47 kHz	?
FREQ1	100 MHz	70.000000 MHz	69.99994 MHz	-0.06 kHz	-25	0.24 kHz	0.37 kHz	?
FREQ1	100 MHz	80.000000 MHz	79.99983 MHz	-0.17 kHz	-59	0.28 kHz	0.37 kHz	?
FREQ1	120 MHz	100.00000 MHz	99.99871 MHz	-1.29 kHz	-369	0.35 kHz	0.29 kHz	*

Popis symbolů:
ok ... vyhovuje
? ... chyba naměřená je v intervalu mezní chyba ± nejistota měření
* ... nevyhovuje

Obr. A.2: Ukázka kalibračního protokolu funkce VAC_2W a FREQ

A.3 Ukázka kalibračního protokolu funkce V_SCOS

V ₁	Funkce	Rozsah	Etalon	UUT	Odchylka[%spe]	Povoleno	Nejistota
V_SCOS	10 mVpk	9.00 mVpk; 100kHz	9.12 mVpk	122 uVpk	5	2665 uVpk	466 uVpk ok
V_SCOS	10 mVpk	9.00 mVpk; 1MHz	10.96 mVpk	1956 uVpk	61	3200 uVpk	549 uVpk ok
V_SCOS	10 mVpk	9.00 mVpk; 10MHz	10.89 mVpk	1893 uVpk	59	3182 uVpk	550 uVpk ok
V_SCOS	10 mVpk	9.00 mVpk; 20MHz	10.64 mVpk	1638 uVpk	53	3107 uVpk	632 uVpk ok
V_SCOS	10 mVpk	9.00 mVpk; 35MHz	10.06 mVpk	1059 uVpk	36	2938 uVpk	632 uVpk ok
V_SCOS	10 mVpk	9.00 mVpk; 50MHz	9.49 mVpk	491 uVpk	18	2772 uVpk	632 uVpk ok
V_SCOS	10 mVpk	9.00 mVpk; 70MHz	8.54 mVpk	-463 uVpk	-19	2494 uVpk	633 uVpk ok
V_SCOS	20 mVpk	18.00 mVpk; 100kHz	17.90 mVpk	-103 uVpk	-2	5228 uVpk	514 uVpk ok
V_SCOS	20 mVpk	18.00 mVpk; 1MHz	22.11 mVpk	4110 uVpk	64	6458 uVpk	812 uVpk ok
V_SCOS	20 mVpk	18.00 mVpk; 10MHz	21.95 mVpk	3946 uVpk	62	6410 uVpk	810 uVpk ok
V_SCOS	20 mVpk	18.00 mVpk; 20MHz	21.36 mVpk	3365 uVpk	54	6241 uVpk	978 uVpk ok
V_SCOS	20 mVpk	18.00 mVpk; 35MHz	20.14 mVpk	2140 uVpk	36	5883 uVpk	975 uVpk ok
V_SCOS	20 mVpk	18.00 mVpk; 50MHz	19.07 mVpk	1067 uVpk	19	5570 uVpk	975 uVpk ok
V_SCOS	20 mVpk	18.00 mVpk; 70MHz	17.16 mVpk	-838 uVpk	-17	5013 uVpk	976 uVpk ok
V_SCOS	50 mVpk	45.00 mVpk; 100kHz	44.49 mVpk	-515 uVpk	-4	12994 uVpk	668 uVpk ok
V_SCOS	50 mVpk	45.0 mVpk; 1MHz	55.8 mVpk	10753 uVpk	66	16285 uVpk	1591 uVpk ok
V_SCOS	50 mVpk	45.0 mVpk; 10MHz	55.2 mVpk	10228 uVpk	63	16132 uVpk	1598 uVpk ok
V_SCOS	50 mVpk	45.0 mVpk; 20MHz	53.7 mVpk	8717 uVpk	56	15691 uVpk	2005 uVpk ok
V_SCOS	50 mVpk	45.0 mVpk; 35MHz	50.6 mVpk	5610 uVpk	38	14783 uVpk	2007 uVpk ok
V_SCOS	50 mVpk	45.0 mVpk; 50MHz	47.6 mVpk	2622 uVpk	19	13910 uVpk	2007 uVpk ok
V_SCOS	50 mVpk	45.0 mVpk; 70MHz	43.0 mVpk	-2001 uVpk	-16	12560 uVpk	2005 uVpk ok
V_SCOS	100 mVpk	90.00 mVpk; 100kHz	88.77 mVpk	-1228 uVpk	-5	25930 uVpk	931 uVpk ok
V_SCOS	100 mVpk	90.0 mVpk; 1MHz	89.4 mVpk	-592 uVpk	-2	26116 uVpk	2894 uVpk ok
V_SCOS	100 mVpk	90.0 mVpk; 10MHz	88.9 mVpk	-1149 uVpk	-4	25953 uVpk	2904 uVpk ok
V_SCOS	100 mVpk	90.0 mVpk; 20MHz	86.0 mVpk	-3962 uVpk	-16	25132 uVpk	3723 uVpk ok
V_SCOS	100 mVpk	90.0 mVpk; 35MHz	81.7 mVpk	-8262 uVpk	-35	23876 uVpk	3724 uVpk ok
V_SCOS	100 mVpk	90.0 mVpk; 50MHz	77.8 mVpk	-12205 uVpk	-54	22724 uVpk	3728 uVpk ok
V_SCOS	100 mVpk	90.0 mVpk; 70MHz	69.9 mVpk	-20056 uVpk	-98	20430 uVpk	3728 uVpk ?
V_SCOS	200 mVpk	180.0 mVpk; 100kHz	161.8 mVpk	-18245 uVpk	-39	47249 uVpk	1493 uVpk ok
V_SCOS	200 mVpk	180.0 mVpk; 1MHz	164.0 mVpk	-15973 uVpk	-33	47912 uVpk	5560 uVpk ok
V_SCOS	200 mVpk	180.0 mVpk; 10MHz	164.1 mVpk	-15942 uVpk	-33	47921 uVpk	5575 uVpk ok
V_SCOS	200 mVpk	180.0 mVpk; 20MHz	159.0 mVpk	-20995 uVpk	-45	46445 uVpk	7216 uVpk ok
V_SCOS	200 mVpk	180.0 mVpk; 35MHz	150.0 mVpk	-30047 uVpk	-69	43801 uVpk	7221 uVpk ok
V_SCOS	200 mVpk	180.0 mVpk; 50MHz	142.8 mVpk	-37183 uVpk	-89	41717 uVpk	7258 uVpk ?
V_SCOS	200 mVpk	180.0 mVpk; 70MHz	127.9 mVpk	-52079 uVpk	-139	37366 uVpk	7239 uVpk *
V_SCOS	500 mVpk	450.0 mVpk; 100kHz	432.1 mVpk	-17940 uVpk	-14	126205 uVpk	3167 uVpk ok
V_SCOS	500 mVpk	450 mVpk; 1MHz	436 mVpk	-13532 uVpk	-11	127492 uVpk	13385 uVpk ok
V_SCOS	500 mVpk	450 mVpk; 10MHz	430 mVpk	-20159 uVpk	-16	125556 uVpk	13340 uVpk ok
V_SCOS	500 mVpk	450 mVpk; 20MHz	416 mVpk	-33801 uVpk	-28	121572 uVpk	17479 uVpk ok
V_SCOS	500 mVpk	450 mVpk; 35MHz	386 mVpk	-63738 uVpk	-56	112827 uVpk	17515 uVpk ok
V_SCOS	500 mVpk	450 mVpk; 50MHz	385 mVpk	-65113 uVpk	-58	112425 uVpk	17500 uVpk ok
V_SCOS	500 mVpk	450 mVpk; 70MHz	361 mVpk	-88643 uVpk	-84	105552 uVpk	17456 uVpk ?
V_SCOS	1 Vpk	0.9000 Vpk; 100kHz	0.8781 Vpk	-21.9 mVpk	-9	256.5 mVpk	5.7 mVpk ok

Obr. A.3: Ukázka kalibračního protokolu funkce V_SCOS část 1.

V_SCOS	1 Vpk	0.900 Vpk; 1MHz	0.900 Vpk	-0 mVpk	0	263 mVpk	26 mVpk	ok
V_SCOS	1 Vpk	0.900 Vpk; 10MHz	0.889 Vpk	-11 mVpk	-4	260 mVpk	26 mVpk	ok
V_SCOS	1 Vpk	0.900 Vpk; 20MHz	0.864 Vpk	-36 mVpk	-14	252 mVpk	35 mVpk	ok
V_SCOS	1 Vpk	0.900 Vpk; 35MHz	0.801 Vpk	-99 mVpk	-42	234 mVpk	35 mVpk	ok
V_SCOS	1 Vpk	0.900 Vpk; 50MHz	0.797 Vpk	-103 mVpk	-44	233 mVpk	35 mVpk	ok
V_SCOS	1 Vpk	0.900 Vpk; 70MHz	0.750 Vpk	-150 mVpk	-69	219 mVpk	35 mVpk	ok
V_SCOS	2.5 Vpk	1.5000 Vpk; 100kHz	1.4712 Vpk	-28.8 mVpk	-7	429.7 mVpk	9.3 mVpk	ok
V_SCOS	2.5 Vpk	1.500 Vpk; 1MHz	1.519 Vpk	19 mVpk	4	444 mVpk	44 mVpk	ok
V_SCOS	2.5 Vpk	1.500 Vpk; 10MHz	1.510 Vpk	10 mVpk	2	441 mVpk	44 mVpk	ok
V_SCOS	2.5 Vpk	1.500 Vpk; 20MHz	1.453 Vpk	-47 mVpk	-11	424 mVpk	58 mVpk	ok
V_SCOS	2.5 Vpk	1.500 Vpk; 35MHz	1.363 Vpk	-137 mVpk	-34	398 mVpk	58 mVpk	ok
V_SCOS	2.5 Vpk	1.500 Vpk; 50MHz	1.354 Vpk	-146 mVpk	-37	395 mVpk	58 mVpk	ok
V_SCOS	2.5 Vpk	1.500 Vpk; 70MHz	1.271 Vpk	-229 mVpk	-62	371 mVpk	58 mVpk	ok
V_SCOS	5 Vpk	1.5000 Vpk; 100kHz	1.4677 Vpk	-32.3 mVpk	-8	428.7 mVpk	9.1 mVpk	ok
V_SCOS	5 Vpk	1.500 Vpk; 1MHz	1.524 Vpk	24 mVpk	5	445 mVpk	44 mVpk	ok
V_SCOS	5 Vpk	1.500 Vpk; 10MHz	1.502 Vpk	2 mVpk	1	439 mVpk	44 mVpk	ok
V_SCOS	5 Vpk	1.500 Vpk; 20MHz	1.454 Vpk	-46 mVpk	-11	425 mVpk	58 mVpk	ok
V_SCOS	5 Vpk	1.500 Vpk; 35MHz	1.360 Vpk	-140 mVpk	-35	397 mVpk	58 mVpk	ok
V_SCOS	5 Vpk	1.500 Vpk; 50MHz	1.355 Vpk	-145 mVpk	-37	396 mVpk	58 mVpk	ok
V_SCOS	5 Vpk	1.500 Vpk; 70MHz	1.273 Vpk	-227 mVpk	-61	372 mVpk	58 mVpk	ok
V_SCOS	10 Vpk	1.5000 Vpk; 100kHz	1.4697 Vpk	-30.3 mVpk	-7	429.3 mVpk	9.2 mVpk	ok
V_SCOS	10 Vpk	1.500 Vpk; 1MHz	1.521 Vpk	21 mVpk	5	444 mVpk	44 mVpk	ok
V_SCOS	10 Vpk	1.500 Vpk; 10MHz	1.507 Vpk	7 mVpk	2	440 mVpk	44 mVpk	ok
V_SCOS	10 Vpk	1.500 Vpk; 20MHz	1.447 Vpk	-53 mVpk	-13	423 mVpk	58 mVpk	ok
V_SCOS	10 Vpk	1.500 Vpk; 35MHz	1.361 Vpk	-139 mVpk	-35	398 mVpk	58 mVpk	ok
V_SCOS	10 Vpk	1.500 Vpk; 50MHz	1.352 Vpk	-148 mVpk	-37	395 mVpk	58 mVpk	ok
V_SCOS	10 Vpk	1.500 Vpk; 70MHz	1.275 Vpk	-225 mVpk	-60	372 mVpk	58 mVpk	ok
V_SCOS	25 Vpk	1.5000 Vpk; 100kHz	1.4671 Vpk	-32.9 mVpk	-8	428.5 mVpk	9.3 mVpk	ok
V_SCOS	25 Vpk	1.500 Vpk; 1MHz	1.520 Vpk	20 mVpk	5	444 mVpk	44 mVpk	ok
V_SCOS	25 Vpk	1.500 Vpk; 10MHz	1.500 Vpk	-0 mVpk	0	438 mVpk	44 mVpk	ok
V_SCOS	25 Vpk	1.500 Vpk; 20MHz	1.449 Vpk	-51 mVpk	-12	423 mVpk	58 mVpk	ok
V_SCOS	25 Vpk	1.500 Vpk; 35MHz	1.365 Vpk	-135 mVpk	-34	399 mVpk	58 mVpk	ok
V_SCOS	25 Vpk	1.500 Vpk; 50MHz	1.353 Vpk	-147 mVpk	-37	395 mVpk	58 mVpk	ok
V_SCOS	25 Vpk	1.500 Vpk; 70MHz	1.269 Vpk	-231 mVpk	-62	371 mVpk	58 mVpk	ok

Popis symbolů:

- ok ... vyhovuje
- ? ... chyba naměřená je v intervalu mezní chyba ± nejistota měření
- * ... nevyhovuje

Obr. A.4: Ukázka kalibračního protokolu funkce V_SCOS část 2.

B Obsah CD

V příloze B, tedy na CD se nachází elektronická verze samotné práce ve formátu .pdf, dále se zde nachází jednotlivé soubory:

1. Složka Caliber - obsahuje obě vytvořené procedury (jak pro automatizovanou kalibraci, tak pro kalibraci manuální) a dále se zde nachází karta kalibrovaného osciloskopu
2. Výstupní protokol z provedené automatizované kalibrace